الانـــــشطـــــار

التطور التاريخي للانشطار النووي

حسين على

الانـــــشطــــار

التطور التاريخي للانشطار النووي

رقم الإيداع: ٢٠٠٥/١٨٢٤٩ .

الترقيم الدولي:ISBN977-17-2667-6

حسين على

□ حسين على.

الانشـــطـــار:

التطور التاريخي للانشطار النووي

□ للاستعلام :
E-mail: husseinaly@link.net

□ رقم الإيداع : ٢٠٠٥/١٨٢٤٩
الترقيم الدولي: ISBN 977-17-2667-6
□ طباعة : عبد الله محمود

الفهـــــرس

- خصائص نواتج الانشطار النووى.
- سلاسل الانحلال الإشعاعي.

الفصل الخامس: الاستفادة من الطاقة النووية:

- الطاقة الناتجة عن الانشطار النووى.
- الانشطار النووى كمصدر للطاقة.

الفصل السادس: التفاعل النووى المتسلسل والقنبلة النووية.

- الحرارة الهائلة المنبعثة من القنبلة النووية.
- المواد المستخدمة فى القنبلة النووية.
- نظام خاص بالتفاعل النووى المتسلسل.
- عامل التوالد النووى.
- حساب عامل التوالد(التكاثر) النووى.
- الأجهزة ذات الأنظمة المتجانسة والغير متجانسة.

الملاحق.

المراجع.

المقدمة

لقد لعبت الطاقة النووية دوراً كبيراً على المسرح العالمى خاصة فى السنوات القليلة الماضية حيث أصبحت كل يوم بل وكل ساعة فى جميع وسائل الإعلام سواء فى العالم الغربى أو الشرقى.

فمنذ بداية السبعينات وقد أظهر كل من الكتلتين الشرقية والغربية الإهتمام المتزايد بالطاقة النووية إلا أن حرب العرب وإسرائيل فى أكتوبر ١٩٧٣م وإنقطاع تصدير البترول للدول التى ساندت إسرائيل ضد العرب جعلت من الطاقة النووية البديل الوحيد للتخلص من أزمات وتحذيرات قضية الطاقة التى تعتمد على البترول والدول المصدرة له.وعليه فقد بدأ الإهتمام الشديد بتطوير الطاقة النووية سواء كان ذلك فى الإستخدامات السلمية أو الحربية. ولكن الأمر لم يتوقف فقط على الغرب والشرق بل تعداهما إلى دول العالم الثالث حيث بدأ يشكل ضغوطاً على سياسات حكوماتهم وذلك من أجل إستخدام الطاقة النووية وخاصة فى المجالات السلمية وربما أيضاً العسكرية. ولكى نكون أكثر وضوحاً نود أن نشير إلى أنه فى بداية السبعينات وقبل ذلك كانت هناك العديد من حكومات الدول الغربية تعقد الآمال على خططتها القصيرة والمتوسطة المدى فى برامجها النووية من أجل الحصول على الكهرباء وإستخدامه كوقود وذلك بغرض

عدم الإعتماد على البترول كمصدر رئيسى للطاقة، وبالفعل نجحت بعض هذه الدول. فإنجلترا على سبيل المثال كانت تعتبر من أوائل هذه الدول حيث أن إنتاج الكهرباء من الطاقة النووية وصل فى عام ١٩٧٣ إلى ما يقرب من ٢٤٠×١٠^{٦} ميجاوات من إجمالى مشاريعها النووية. أما الولايات المتحدة الأمريكية فقد كانت الثانية فى القائمة حيث وصل إنتاجها من الكهرباء إلى حوالى ٢٠٩×١٠^{٦} ميجاوات.

وتعقد دول الغرب الآمال على أن الطاقة النووية ستقوم بسد إحتياجاتها من الطاقة فى المدى الطويل. فهل ستستطيع الدول الغربية بالفعل تحقيق هذه الآمال. وهنا نود أن نذكر أن هيئة الطاقة النووية للولايات المتحدة الأمريكية ووكالة الطاقة النووية الأوربية والوكالة العالمية للطاقة النووية قد قاموا بتقدير كمية اليورانيوم المستخدمة كوقود لإنتاج الطاقة النووية للفترة من ١٩٧٠-١٩٨٠م بحوالى ٤٠٠ ألف طن من أكسيد اليورانيوم. كما أنه فى نفس الفترة قدر إحتياطى اليورانيوم الذى تتكلف عملية إستخلاص الرطل الواحد ١٠ دولار فى عام ١٩٧٠م بحوالى ٨٠٠ ألف طن. إلا أن مخزون اليورانيوم لا يقف عند هذا الحد، فيوجد أيضاً يورانيوم وبكميات ضخمة ولكن عمليات إستخلاصه تتكلف الكثير نتيجة لإتحاده مع بعض العناصر الأخرى. وعلى الرغم من ذلك فإن التنبؤات تشير إلى أن المخزون من اليورانيوم الذى يستخدم فى عمليات الإنشطار النووى بغرض الحصول على الكهرباء المستخدم كوقود ليست كمياته

ضخمة بل أكثر قليلاً من البترول حيث يتوقع إستنفاذ اليورانيوم فى خلال ٢٥ إلى ٣٠ عاماً. ويرجع السبب فى ذلك إلى أن اليورانيوم ٢٣٥ (وهو النشط والقابل للإنشطار) يشكل حوالى ٠,٧٪ من مخزون اليورانيوم فى باطن الأرض - أما الباقى فهو نظائر غير قابلة للإنشطار ومن أهمها هو اليورنيوم ٢٣٨ والذى يعد أفضل من غيره من النظائر الخاملة حيث أنه يساهم بنسبة محدودة فى عمليات الإنشطار وعلى الرغم من ذلك فإن تكاليف الحصول عليه وإ'ستخلاصه مرتفعة جداً بالمقارنة باليورنيوم ٢٣٥. إلا أن علماء الطاقة النووية يروا أنه لكى يتحقق الإستفادة القصوى من اليورنيوم ٢٣٨ لابد من تحويله إلى مادة قابلة للإنشطار وهى البلوتونيوم ٢٣٩ ويتم ذلك داخل مفاعل ذو تصميم خاص ومناسب حيث أن عمله هو إنشطار النواة وتضاعفها بمعنى أن كل نواه تنشطر إلى أكثر من نواه وهكذا وذلك من ذرة اليورانيوم ٢٣٨ الغير نشطة إنشطاريا - وهذه النوعية من المفاعلات يطلق عليها المفاعلات الولودة.

وبالطبع سيكون من نتيجة إستخدام المفاعلات العادية التى تستخدم اليورانيوم ٢٣٥ والمفاعلات الولودة التى تنتج البلوتونيوم الناتج من اليورانيوم ٢٣٨ القدرة على زيادة كميات اليورانيوم المستخدمة فى عمليات الإنشطار من أجل الحصول على أكبر قدر ممكن من الطاقة النووية وذلك بدلاً من الإعتماد على نسبة ٠,٧٪ الناتجة من اليورانيوم ٢٣٥ النادر الوجود - وهذا يرجع إلى أن اليورانيوم ٢٣٨ أصبح يعمل بكفاءة نتيجة

إستخدامه فى المفاعلات الولودة التى توصلت إلى أن الطاقة النووية الناتجة لكل رطل منه تضاعفت حتى وصلت إلى ١٤٠ مرة عما كان أولاً.

أى أن إستغلال المخزون من اليورانيوم سيؤدى إلى زيادة ضخمة فى الحصول على الطاقة النووية المستخدمة فى الأغراض السلمية وهى الكهرباء. نخرج من هذا بأن المفاعلات الولودة تعمل على مضاعفة المخزون من اليورانيوم المستخدم كوقود لمرات عديدة عما كان مقدراً له قبلاً ومن ثم فإنه يمكن الإستغناء على الوقود العضوى الآخر وهو البترول والفحم والغاز الطبيعى. وعلى الرغم من الأهمية القصوى لإستخدامات الطاقة النووية وزيادة نسبة المؤيدين لها فى الدول المتقدمة إلا أنه يوجد معارضين لها أيضاً، ومن أهم الإنتقادات التى توجه إليها هما النقطتين التاليتين :

١- الأمان النووى   ٢- التلوث الإشعاعى

فبخصوص الأمان النووى : نستطيع أن نقول أن الأمان الكامل للمفاعلات النووية عمل صعب للغاية حيث لم تستطع أية دولة حتى الأن التوصل إليه - ولكن فى نفس الوقت لم يتم التوصل إلى الأخطار الكاملة التى يمكن التعرض إليها - ومن ثم يمكننا القول أن صناعة الطاقة النووية لا زالت حتى الآن تحظى بسجل نظيف خال من التدمير والقتل.

أما التلوث الإشعاعى : فإن بعض (وليس كل) المواد المشعة الناتجة من المفاعلات النووية تستمر لفترة طويلة جداً ومن ثم فهى تخزن لمدة قد

تصل أحياناً إلى ٥٠٠ عاماً وعليه فإننا نجد أن طول فترة التخزين هذه تؤدى إلى إنتقادات كثيرة ولكن لازالت الأبحاث جارية من أجل الحصول على حل نهائى لهذه المشكلة.

وعلى الرغم من أن الطاقة النووية الناتجة عن الإنشطار لم تعمم بعد على مستوى العالم كبديل للطاقة العضوية إلا أن علماء وخبراء الطاقة النووية يعملون بجهد كبير من أجل تطويرها. فالأمل الذى يراود حكومات وعلماء الغرب اليوم هو التطور السريع من أجل تأمين المستقبل من تحذيرات ونقص الطاقة حتى لا يتعرضون مرة ثانية للأحداث التى أعقبت حرب أكتوبر ١٩٧٣م بين العرب وإسرائيل والتى شكلت ضغوط هائلة على الإقتصاد العالمى.

وعليه نستطيع أن نقول أنه بالفعل قد توصل علماء الغرب إلى تحقيق جزء كبير من هذا الأمل والذى يتمثل فى الحصول على الطاقة نتيجة الإتحاد أو الإندماج لجزئيات متناهية الصغر من الذرة – أى أن عملية الإندماج النووى هى عبارة عن تجميع لنويات متناهية الصغر يصحبها خروج طاقة، وهذه الطاقة هى التى تستخدم فى الأغراض المطلوبة. ويرجع تاريخ هذا النوع من الطاقة إلى القنبلة الهيدروجينية حيث ثبت علمياً وعملياً أنه من الممكن الحصول على طاقة حرارية عالية نتيجة الإندماج النووى.

وهنا نود أن نوضح الآتى : أنه فى حالة التفجير النووى التقليدى فإن ما يحدث هو إنبعاث ضوء نووى ومعه قوة كافية متحدة معه – هذا بالإضافة إلى خروج كمية هائلة من الطاقة.ولكن بإستثناء التفجيرات النووية، يرى العلماء أن أفضل الطرق لإجبار تجميع النويات المتناهية الصغر هو المتمثل فى تسخين هذه النويات داخل مستودع من أجل التحكم فيها والحصول على الطاقة المطلوبة – ومن هنا جاء الاسم المطلق عليها وهو الطاقة النووية الحرارية – إلا أنه لسوء الحظ لم يتم ذلك حتى الأن. ويرجع السبب فى ذلك إلى عدم القدرة على إنتاج الحرارة العالية جداً والمطلوبة لمدة طويلة فى صورة غاز ذو كثافة معينة تكفى لجعل مشروع الطاقة النووية الحرارية حقيقة لاخيال.

فى الواقع أن مشروع الطاقة النووية الحرارية المستخدمة فى المجالات السلمية من الممكن تحقيقه حيث أن العمل فيه جارياً الأن – وتشير الدلائل الأخيرة إلى أن معظم المشاكل المتعلقة به أمكن التغلب على معظمها – ومن ثم فقد أعلن أن مشروع عمليات الإندماج النووى قد تم البدء فيه قبل اوائل عام ١٩٩٠، كما أنه يتوقع أن بداية عام ٢٠١٠م ستشهد أول مشروع لإستخراج الطاقة الناتجة عن الإندماج النووى ويشير العلماء فى هذا الصدد إلى أن أنسب العناصر المستخدمة فى عمليات التفاعل الخاصة بالإندماج النووى هى الديوتيريم والتريتيوم وكلاهما من النظائر الثقيلة لذرة الهيدروجين. وحيث أن الحصول على التريتيوم الطبيعى محدود

لندرته فى الطبيعة لذا فقد روعى أنه لابد من تصنيعه من عنصر الليثيوم-٦.

ويعتقد أن مخزون الليثيوم -٦ فى العالم يعادل وربما أكثر من مخزون الوقود المستخدم حالياً والمتمثل فى البترول والفحم والغاز الطبيعى مجتمعين. هذا ويضيف العلماء والخبراء القائمون على هذا المشروع أنه فى حالة إستخدام عنصر الديوتيريم بالإضافة إلى الليثيوم -٦ فإن مشكلة الطاقة العالمية سوف تنتهى إلى حيث لا رجعة إليها، وذلك لأن عنصر الديوتيريم يوجد بكميات هائلة فى البحار والمحيطات - ومن ثم ستكون النتيجة النهائية كما يصورها الخبراء والعلماء هى الحصول على الطاقة لملايين السنين وذلك فى حالة عدم حدوث أية تطورات جديدة فى عالم الطاقة وبالطبع هذا أمر مستبعد نظراً للإختراعات المتوالية يوماً بعد يوم. ولكن ما هو موقف مصر من هذا كله؟ هل ستظل واقفة هكذا بعيدة عن تكنولوجيا الأمس واليوم والمستقبل؟

لاشك أن التطورات المذهلة فى الشرق والغرب بل وفى الشرق الأوسط نفسه من خلال إسرائيل المتطورة علمياً وعملياً فى هذا القطاع - وأيضاً فى أفريقيا والمتمثلة فى جنوب أفريقيا التى تلعب دوراً رائداً فى تكنولوجيا الطاقة النووية والتى هى أقرب ما يكون إلى الغرب - كل هذا يشكل خطراً على مصر المستقبل والعقول المصرية بالتبعية حيث أنها وجدت لها المكان فى الدول الغربية تاركة مصر والجمود المصرى الذى لم يشجع على المضى قدماً فى التكنولوجيا الحديثة.

وعليه فنعتقد أنه لابد من البدء وبأسرع ما يمكن فى إستخدام الطاقة النووية خاصة وأن مصر وقعت على إتفاقية عدم إنتشار الأسلحة النووية فى فبراير عام ١٩٨١. فالسياسة المصرية واضحة فى هذا المجال حيث أنها تركز أساساً على إستخدام الطاقة النووية فى إنتاج الكهرباء للإستخدامات المحلية وإزالة ملوحة المياه والنقل البحرى – هذا بالإضافة إلى شق القنوات والموانى وأيضاً فى الأساليب الفنية الحديثة للتعدين والكشف عن البترول والغازات الطبيعية كما أنها تفكر أيضاً فى إستخدامها فى المجالات الطبية مثل البطاريات الذرية الصغيرة من أجل عمل قوى كهربية للقلوب والأعضاء الأخرى الصناعية – وعلاوة على ما تقدم إستخدام النظائر المشعة التى تمكن من تحديد العمر الجيولوجى وأيضاً فى الآثار القديمة – ثم تنشيط العمليات الصناعية والكيماوية.

الفصل الأول
الذرة والإنشطار النووى

لقد بدا واضحاً فى السنوات القليلة الماضية إن إنتاج الكهرباء عن طريق الإنشطار النووى المتحكم فيه أصبح عملاً يرضى عنه الغالبية إن لم يكن الجميع، بل ثبت أيضاً أن إنتاج الطاقة النووية يعد بمثابة الجزء الحيوى والهام فى إعداد جميع الخطط القومية فى العديد من دول العالم. ويرى الكثير من خبراء الطاقة أن الطاقة النووية تعتبر أول تطور ضخم ومستمر فى تاريخ البشرية من أجل القضاء على مشاكل العجز فى الوقود.

وهنا نود أن نشير إلى أن أول محطة نووية تجارية خاصة بإنتاج الطاقة فى العالم قد تم إفتتاحها فى إنجلترا وذلك فى عام ١٩٥٦م فى منطقة كالدرهول، ولكن التجارب فى هذا المجال بدأت قبل ذلك بكثير حيث يرى البعض أن تاريخها يعود إلى ما قبل القرن التاسع عشر.

فى الواقع إن رحلة الطاقة النووية تعود إلى عام ١٨٩٥م وذلك عندما إكتشف رونتجن أشعة إكس* وهى عبارة عن أشعة غير مرئية

---

* يمكن الحصول على أشعة إكس وذلك عند إنبعاث الالكترونات من فتيلة من التنجستون وبإستخدام طاقة حركية كبيرة فإن هذه الالكترونات تتحرك بسرعة هائلة لتصطدم فى النهاية بالتنجستون ومن ثم فينتج عن هذا التصادم أشعة إكس – ويرجع السبب فى ذلك إلى أحد الإحتمالين الآتيين :

١- أن يتخذ الالكترون بعد سقوطه على التنجستون طريقة إلى داخل إحدى ذراته ليصطدم فى النهاية بأحد الالكترونات المتحركة فى أحد مستويات الطاقة القريبة من نواة ذرة

أطوالها الموجية قصيرة جداً، ولكن نظراً لعدم معرفة رونتجن لطبيعة هذه الأشعة أطلق عليها إسم أشعة إكس. وبعد عام من إكتشاف رونتجن لأشعة إكس وبالتحديد فى عام ١٨٩٦م حالف التوفيق بيكوريل فى إكتشاف ظاهرة النشاط الإشعاعى من أملاح اليورانيوم حيث أنه لاحظ أن هذه الأملاح ينبعث منها إشعاعات غير مرئية تؤثر فى الألواح الحساسة المغلفة بالورق الأسود كما أنها تؤثر أيضاً فى الكشاف الكهربى.

فى الحقيقة إن إكتشاف بيكوريل هذا كشف النقاب عن الذرة ومن ثم فلم تعد الذرة عديمة الحياة ولاجامدة. ومن منطلق بيكوريل هذا إستطاع بوينكير التوصل إلى أن هناك علاقة وثيقة بين كل من أشعة إكس والنشاط الإشعاعى للعناصر.

التنجستون حيث يؤدى هذا التصادم إلى إنفصال هذا الالكترون عن مستويات الطاقة الخاصة به تاركاً فراغاً ومن ثم تتأين ذرة التنجستون وعليه يقفز الكترون من أحد مستويات الطاقة الخارجية ليملأ هذا الفراغ فى مستوى الطاقة الداخلى - ويصحب هذا نقص فى طاقة هذا الالكترون حيث يظهر على شكل إشعاع وهو ما يطلق عليه أشعة إكس وهذا الإشعاع الناتج دائماً ما يكون مميزاً لعنصر التنجستون ولهذا يسمى بأشعة إكس المميزة.

٢- أما الإحتمال الثانى فهو يتمثل فى الأتى : بعد سقوط الالكترون على التنجستون وأثناء إختراقه لذرة التنجستون فإنه يتأثر بمجالها الكهربى وينتج عن ذلك أن تتناقص سرعته وتقل بالتالى طاقة حركته ومن ثم فإن النقص فى طاقة الحركة يظهر على شكل إشعاع "هو أشعة إكس"، ولكن يحدث أحياناً أن يفقد الالكترون كل طاقة حركته دفعة واحدة وعندئذ تكون طاقة الإشعاع الناتج عنه مساوية تماماً للطاقة التى إكتسبها عند عملية القذف.

وبعد عامين من إكتشاف بيكوريل (١٨٩٨م) إستطاعت مدام كورى أن تفصل عناصر البولونيوم والريديوم من المواد الخام والتى منها تم إستخلاص أملاح اليورانيوم – وبناء على ذلك إكتشفت مدام كورى أن النشاط الإشعاعى الذى نتج عن المواد الخام كان أكثر من الذى نتج عن الأملاح - فعلى سبيل المثال ثبت لها أن عنصر البولونيوم له قوة إشعاع تعادل ٤٠٠ مرة تلك التى يحظى بها اليورانيوم، هذا بالإضافة إلى أن النشاط الإشعاعى لعنصر الريديوم يعادل نشاط اليورانيوم مليون مرة .. وعلى هذا الأساس وضعت مدام كورى نظريتها الخاصة بالإشعاع الكيميائى. وهنا نود أن نشير إلى أن وحدة القياس التى إستخدمتها مدام كورى فى قياس قوة النشاط الإشعاعى أطلق عليها لفظ "كورى".

[والكورى هو عبارة عن وحدة قياس أساسية تستخدم للتعبير عن شدة النشاط الإشعاعى لأى عنصر – والكورى يساوى ٣٧ بليون إنحلال إشعاعى لكل ثانية وهو تقريباً معدل إنحلال جرام واحد من الراديوم... كما أن الكورى هو عبارة عن كمية الصورة الذرية للعنصر التى يكون نشاطها الإشعاعى كورى واحد].

وبالإضافة إلى ما سبق فقد تم التوصل إلى نقطة هامة والتى أضافت الكثير إلى عالم الذرة وهى ما قد إكتشفه العلماء من أن المواد

المشعة* تعمل على تغيير أو تحويل العناصر الأصلية إلى عناصر أخرى مختلفة تماماً عن العناصر الأصلية وذلك مع مرور الوقت. وبناء على ذلك بدأت الدراسات والأبحاث المكثفة بقيادة كل من رذفورد، وأيضاً سودى في عام ١٩٠٣م ثم بعد ذلك فون شيدلر في عام ١٩٠٥م إلى أن تم التوصل إلى وضع نظريتهم الخاصة بالإنحلال الإشعاعى - وتقول هذه النظرية :

أن الذرات النشطة إشعاعياً تنحل تلقائياً، ومن خلال هذا الإنحلال تصدر الذرة دقائق صغيرة جداً تغير من صفاتها الطبيعية. وعند فحص الأشعة المنبعثة من الذرة أثناء فترة الإنحلال وجد أنها تنقسم إلى ثلاثة أنواع هى :

أ- دقائق ألفا　　　ب- دقائق بيتا　　　جـ- إشعاعات جاما

بالنسبة لدقائق ألفا فإن أهم ما تتميز به هو قدرتها الشديدة على التأين حيث يتم إمتصاصها فى سنتيمترات قليلة من الهواء - كما أنها تنحرف بتأثير المجال المغناطيسى أو الكهربى مما يدل على أنها مشحونة كهربياً بشحنه موجبة، هذا بالإضافة إلى أن كتلتها تبلغ ٤ أمثال كتلة ذرة الهيدروجين، كما تعتبر كل دقيقة منها بمثابة نواة ذرة هيليوم حيث تحتوى على ٢ بروتون و ٢ نيوترون - كما أن سرعتها تصل إلى ٠,١ من سرعة

---

* إن أهم خصائص الإشعاعات هى التأثير فى الألواح الحساسة وإحداث وميضا عند سقوطها على بعض المواد مثل سيانيد الباريوم البلاتينى وكبريتيد الخارصين، كما أنها تؤين الهواء ومن ثم فإنها تؤثر فى الكشاف الكهربى المشحون.

الضوء – وأن قدرتها على النفاذ محدودة حيث يمكن أن تمتصها صفيحة رقيقة من المعدن وتمنعها من النفاذ.

أما بخصوص دقائق بيتا : فهى أقوى بكثير على النفاذ خلال الأجسام الصلبة من دقائق ألفا حيث يمكنها أن تنفذ من خلال عدة مليمترات فى الألومنيوم – ولكنها تنحرف بتأثير المجال المغناطيسى أو الكهربى فى عكس إتجاه إنحراف دقائق **ألفا** مما يدل على أنها جسيمات مشحونة كهربياً وسالبة الشحنة – وبالإضافة إلى أن قدرتها على تأين الغازات أقل من قدرة دقائق ألفا فإن سرعتها أكبر بكثير من دقائق ألفا وذلك لأنها تقرب من سرعة الضوء.

ومن خلال التجارب التى أجراها تومسون فى عام ١٨٩٩م إستطاع أن يكتشف أن بها الكترونات حيث أن كل دقيقة منها تعادل الكترون* وتساويه فى الكتلة والشحنة.إلا أن إشعاعات جاما تختلف عن سابقيها – وتشبه أشعة جاما أساساً أشعة إكس ولكنها عادة أكثر منها نشاطاً وقوة حيث أنها من أصل نووى. فأشعة جاما لديها القدرة على إختراق عدة سنتيمترات من الرصاص – كما أنها تتأثر بالمجال المغناطيسى أو الكهربى

---

* الالكترون هو جسيم أولى يحمل وحدة الشحنات الكهربية السالبة وتساوى كتلته نحو جزء من ١٨٣٧ من كتلة البروتون – وتحيط الالكترونات بالنواة الموجبة الشحنة – كما أن الالكترونات تحدد الخواص الكيماوية للذرة – كما توجد أيضاً الكترونات موجبة تسمى بوزيترونات.

مما يدل على أنها مشحونة – أما بالنسبة لسرعتها فهى أكبر قليلاً من دقائق بيتا حيث أنها تساوى سرعة الضوء.

وهنا نود أن نشير إلى الآتى : أن النشاط الإشعاعى الذى يصاحبه إنبعاث دقائق ألفا يطلق عليه التحلل بإشعاعات ألفا أو التحلل النووى بدقائق ألفا – أما فى حالة إنبعاث دقائق بيتا فإنه يطلق عليها التحلل بإشعاعات بيتا – وعليه فيجب أن نضع فى الإعتبار هنا أنه أثناء تحول أنوية العناصر إلى أنوية عناصر أخرى بواسطة إنبعاث أشعة ألفا أو بيتا أو جاما فإن التحول الإشعاعى لا يحدث معه أى فقد لأعداد الكتلة أو العدد الذرى أى أن مجموع أعداد الكتلة والأعداد الذرية لكل من المادة الجديدة والأشعة المنبعثة يساوى تماماً فى مجموعه أعداد الكتلة والعدد الذرى للنواة المشعة ويطلق هنا على النواة المشعة الأصلية بالنواة الأم بينما تسمى النواة الجديدة الناتجة بإسم الابنه [ويطلق على الابنة لفظ النيوكليد أى الصورة الذرية للعنصر وهى تنشأ كما أشرنا من قبل من الإنحلال الإشعاعى* لنيوكليد آخر يسمى الأم وأحياناً يطلق عليه الأب].

---

* لقد تم التوصل عن طريق ظاهرة النشاط الإشعاعى إلى وضع قاعدة الإزاحة لذرات العناصر والتى عن طريقها أمكن تحديد عدد الكتلة وشحنة ذرة العنصر الجديد الناتجة عن إنبعاث دقائق ألفا وبيتا حيث يتمثل ذلك فى الأتى :

نظراً لأن دقيقة ألفا تصل عدد كتلتها إلى ٤ وذلك لإحتوائها على ٢ بروتون، ٢ نيترون لذا فإن الذرة التى ستتكون نتيجة لإنبعاث جسيمات ألفا ستكون ذات شحنة كهربية تقل عن شحنة المادة الأصلية المشعة بعدد ٢، كما أن كتلتها ستقل بعدد ٤، ومن ثم فإن العنصر الجديد سيشغل مكاناً فى الجدول الدورى مزحاً بوضعين إلى اليمين عن العنصر الأصلى.

ولكن حتى عام ١٨٩٩م لم يعلن عن وجود نموذج ثابت لبناء الذرة، إلا أنه كانت هناك بعض الإقتراحات حول هذا الموضوع مثل التى أعلنها تومسون والتى إعتمد فيها على الإقتراحات السائدة فى ذلك الوقت وهى : أن الذرات تتغير فى خواصها الكيميائية وذلك نتيجة لخروج جسيمات سالبة أو موجبة.

وبناء على ذلك وضع تومسون تصوره لنموذج الذرة والذى قال فيه أن الذرة عبارة عن جسم كروى ذو كهربية موجبة ويوجد بها الكترونات سالبة موزعة داخل جسم كروى بحيث يجعلها متعادلة، ومن ثم فإن الشحنة الكهربية تصبح مساوية صفراً. ولقد أطلق على نموذج تومسون هنا لقب " نموذج بلم بودينج للذرة ".

ولقد ظل معمولاً بنموذج تومسون لفترة طويلة حتى قام رذفورد بإلغائه فى عام ١٩١١م، وذلك عندما أجرى إحدى تجاربه الشهيرة والتى تمثلت فى تصويب دقائق ألفا على الذرة ومتابعة الإتجاهات التى تتاثرت

أما فى حالة إنبعاث دقيقة بيتا السالبة فإن شحنة ذرة العنصر الجديدة ستزيد بوحدة شحنة عن المادة الأصلية بينما سيظل عدد الكتلة كما هو – أى أن إنبعاث أشعة بيتا يحدث نتيجة لتحول أحد نيوترونات النواة الأصلية إلى بروتون والكترون – وعليه فإننا نجد أن عدد النيوترونات فى النواة الجديدة يقل بواحد عنها فى النواة الأصلية ويزيد عدد بروتوناتها بواحد بينما يبقى عدد الكتلة ثابتاً. أما فى حالة إنبعاث أشعة جاما فإنه لا يحدث أى تغير فى عدد الكتلة أو العدد الذرى للمادة المشعة حيث أن أشعة جاما عبارة عن فوتونات ذات طاقة معينة لذلك فهى تؤدى إلى إستقرار النواة الأصلية حيث تحمل ما زاد بها من طاقة عن طاقة إستقرارها.

فيها حطام الذرة. ولقد أدت بالفعل النتائج التى حصل عليها رذفورد إلى وضع الأساس لنموذج الذرة المعمول به حالياً – ولكى يعلل رذفورد ظاهرة تناثر جسيمات أو دقائق ألفا، فقد إفترض وجود مجال ذو كهربية شديدة بالقرب من مركز النواة – ولكى يتحقق من ذلك، إقترح تومسون أن الذرة تتكون من نواة صغيرة جداً عبارة عن جسيم يحمل جميع شحنة الذرة الموجبة – كما إفترض أيضاً أنها محاطة بفراغ هائل يعلوها حيث توزع فيها الشحنات السالبة وهى الالكترونات – كما تصور تومسون أيضاً أن محيط هذا الفراغ عند مقارنته بالذرة فإنه يصل إلى حوالى ١٠٠ مليون من السنتيمتر الواحد.

وبعد عامين من وضع نموذج تومسون للذرة وبالتحديد فى عام ١٩١٣م قام جيجر* ومارسدين بنشر تفاصيل نتائج تجاربهم حول إنتشار

---

* لقد إستخدم جيجر فى تجاربه الكشاف الغازى والذى أطلق عليه بعد ذلك كشاف جيجر وهو يتكون من إنبوبة إسطوانية صغيرة من المعدن موضوعة داخل إنبوبة زجاجية دقيقة الجدران تحتوى على غاز الأرجون مع نسبة من الكحول تحت ضغط عدة سنتيمترات من الزئبق يمر فى وسطها سلك معدنى دقيق يبلغ قطره من ٠,٠٧٥ إلى ٠,٢٥ مليمتر وهو معزول عن جدران الأنبوبة عزلاً جيداً – ويمثل هذا السلك القطب الموجب للكشاف بينما تقوم جدران الأنبوبة مقام القطب السالب، ويتسبب المجال الكهربى الناشىء بين القطبين أى بين السلك الأوسط وجدران الكشاف فى حركة الأيونات والالكترونات الناتجة من تأين الغاز داخل الكشاف نتيجة لمرور الإشعاعات المؤينة فيه فتهاجر الأيونات الموجبة نحو القطب السالب والمتمثل فى جدران الأنبوبة، بينما تهاجر الالكترونات نحو القطب الموجب وهو السلك الأوسط مما يسبب تضاعف الأيونات من عمليات التصادم المتوالية ويتولد عن ذلك تيار كهربى يمر بالدائرة الخارجية حيث يمكن قياسه بطريقة أو بأخرى.

دقائق ألفا والتي أوضحت أنها علـى إتفـاق تـام مـع نظريـة رذفـورد – كمـا أكدت أيضاً أن النواة الموجبة للذرة صغيرة للغاية.

ولـم يتوقـف الأمـر عنـد هـذا الحـد فلقد إستمرت التجـارب التـى إستخدمت فيها طاقات عالية لدقائق ألفا، ومن ثم فقد كـانت النتـائج جميعهـا تؤكد صحة نموذج رذفورد للذرة، بالإضافة إلي ذلك أوضحـت غالبيـة هـذه النتائج أن المنطقة الدائرية لنواة الذرة تصل إلى مليون مـن السـنتيمتر [أى ١٠ ١٢ سم]. أما من ناحية رذفورد فقد كان أكثر نشاطاً فى هذا المجال حيـث أنه إستمر فى تجاربه إلى أن توصل بعـد ثمانيـة أعـوام مـن وضـع نظريتـه الشهيرة عن الذرة وبالتحديد ١٩١٩م إلى تحطيم نواة ذرة النـتروجين وذلـك بقذفها بدقائق ألفا أيضاً. أمـا النتـائج التـى حصـل عليهـا فقد تمثلت فـى أن الدقائق التى تناثرت من الذرة المحطمة كانت عبارة عن نويات الهيدروجين والتى أطلق عليها رذفورد كلمة بروتون* وكلمة بروتـون هـى فـى الأصـل كلمة إغريقية وتعنى "الأول".

ونظراً لأن البروتونات تظهر غالباً فى عمليات إنحلال النواة، كمـا أن بعض النويات كانت معروفة في ذلك الوقت بخروج الالكترونات منها – لذا فقد إقترح رذفورد نموذجاً آخر لذرته والذى تمثل فى الآتى :

---

* بروتون وهو عبارة عن جسيم أولـى يحمـل وحـدة الشـحنات الكهربيـة الموجبـة وتبلـغ كتلتـه ١٨٣٧ مرة قدر كتلة الالكترون تقريباً، هذا بالإضافة إلى أنه عبارة عن نواة ذرة أيدروجين

أن نـواة الـذرة عبـارة عـن جسـيم متنـاهى الصـغر ويحمـل شـحنة موجبة نتيجة لإحتوائه على البروتونات كما أن كتلة الذرة تتركز أساساً فـى النواة وذلك بسبب إحتوائها على البروتونات – هذا بالإضافة إلـى أن النـواة يحاط بها عدد من الالكترونات السالبة يساوى عـدد البروتونـات الموجبـة – ولذا فإن الذرة متعادلة متعادلة كهربياً، كما أن قوة جذب النواة للالكترونـات يساوى قوة الطرد المركـزى الناشـئة عـن دورانهـا. ولكـن نمـوذج رذفـورد للذرة لم يستمر طويلاً فسرعان ما تعرض للنقد وذلك نتيجة للخصائص التى تتمتع بها كـل مـن الالكترونـات والنويـات – ويرجـع السـبب فـى ذلـك إلـى نظرية مكسويل للمجال المغناطيسى والتى تقول :

إذا تحـرك جسـيم مشـحون بشـحنة كهربيـة فـى مـدار جسـيم آخـر مشحون بشحنة مضادة فإن الجسيمات المتحركة تفقـد بعـض طاقاتهـا نتيجـة إنبعاث إشعاعات مما يؤدى فى النهايـة إلـى صـغر مـدار الجسـيم المتحـرك تدريجياً وذلك تبعاً لنقص طاقته.

والإعتراض هنا على نموذج رذفورد يتمثل فى الأتى :

عند تطبيق نظرية ماكسويل على حركـة الالكـترون السـالب حـول النواة الموجبة فإن الالكترون يفقد طاقتـه تدريجياً أثنـاء حركتـه الدورانيـة حـول النـواة – ومـن ثـم فـإن سـرعته تقـل وتكـون النتيجـة هنـا أن يقـترب

خفيفة وعلاوة على ذلك فإن البروتونات تدخل فى تكوين كل الأنويـة، كمـا أن العـدد الـذرى هو عبارة عن عدد البروتونات الموجودة فى نواة أية ذرة.

الالكترون من النواة وذلك فى مدار حلزونى إلى أن يلتصق بها فى النهايـة، ومن ثم فإن الذرة سوف تفقد كيانها وتتلاشى بالتبعية شحنتها الكهربية.

وعليـه فـإن نظريـة مكسويل أدت فـى النهايـة إلـى إلغـاء نظريـة رذفورد- إلا أن رذفورد إستمر فـى تجاربـه وبعـد حوالـى عـام [١٩٢٠م] وضع رذفورد تصوراً جديداً للذرة وقد إفترض فيه وجود النيوترونات* فى نواة الذرة. وبعد حوالى ١٣ عاماً من إفتراض رذفورد لوجود النيوترونـات بنواة الذرة ساعد الحظ تشـادويك علـى إكتشـاف النيوتـرون وذلـك فـى عـام ١٩٣٢م والذى هـو متعـادل كهربياً وكتلتـه أكبر قليـلاً مـن البروتون. أمـا الحـدث الهـام فـى مجـال الطاقـة النوويـة فهـو إكتشـاف النشــاط الإشـعاعى الصناعى فى عام ١٩٣٤م، أى بعد عامين من إكتشاف تشادويك للنيوترون، حيث إستطاعت مدام جوليوت كورى وزوجهـا جوليـوت إكتشـاف أن هنـاك العديد من العناصر الثابتة فى الطبيعـة يمكـن تحويلهـا إلـى عنـاصر أخـرى غير متشابهة مع الأصلية وذلك بعد قذف الأولى بدقائق ألفا.

ويتمثل النشاط الإشعاعى الصناعى فى أبسط صورة فــى الأتـى : عنـد قذف نوى ذرات بعض العناصر المستقرة بقذيفـة نوويـة ذات طاقـة مناسـبة

---

* النيوترون عبارة عن جسيم أولى غير مشحون تزيد كتلته قليلاً عن كتلة البروتون ويوجد فى نواة كل ذرة أثقل من الأيدروجين - والنيوترون الحر غير مستقر ولذا فإنه ينحل تبعاً لفـترة نصف الحياة والتى تقدر بحوالى ١٢ دقيقة إلى الالكترون والـبروتون والنيـترينو - وعـلاوة على ما سبق فإن النيوترونات تعمل على بقاء التفاعل الإنشطارى المتسلسل الذى يحدث فـى المفاعلات النووية.

فإنها تؤدى إلى إضطراب فى نواة ذرة هذا العنصر بحيث تصبح غير مستقرة ومن ثم فتخرج منها إشعاعات ويكون من نتيجة ذلك تحول نواة ذرة العنصر إلى نواة لنظير أحد العناصر المستقرة. ويوجد أنواع مختلفة تستخدم فى إحداث حالة الإضطراب لنواة ذرة العنصر المستقر وهى :

جسيم ألفا، الديوترونات، البروتونات، النيوترونات

ولكن يفضل إستخدام النيوترونات عن غيرها وذلك لأنها ذو كتلة مناسبة بالإضافة إلى أنها متعادلة كهربياً مما يؤدى إلى دخولها الذرة دون أى تجاذب مع الالكترونات أو إحداث تنافر مع شحنة النواة. ولكن قد يتسائل البعض عن أوجه الإختلاف بين الإنحلال الإشعاعى الطبيعى والصناعى، والإجابة على ذلك هى :

- إنه فى حالة الإنحلال الإشعاعى الطبيعى نجد أن نوى الذرات المشعة طبيعيا تبعث بجسيمات بيتا أو ألفا – أما الذرات المشعة صناعياً فإنها تبعث بجسيمات بيتا أو البوزيترونات* وأيضاً أشعة جاما.
- قد يؤدى الإنبعاث الإشعاعى الواحد فى العناصر ذات النشاط الإشعاعى الصناعى إلى نواة مستقرة فى الغالب، بينما يتم عكس ذلك فى الإنحلال الإشعاعى الطبيعى.

بالإضافة إلى ما سبق نجد أن العناصر المشعة طبيعياً قد إنحدرت من أصول ذات عمر طويل. وهنا نود أن نقول أن العنصر ذى النشاط

---

* البوزيترون هو عبارة عن جسيم له كتلة الالكترون ولكن يحمل شحنة موجبة واحدة.

الإشعاعى الصناعى يطلق عليه إسم العنصر المشع. أما التحول الكبير الذى أعقب إكتشاف النشاط الإشعاعى الصناعى فقد تم على يد فيرمى ومساعديه حيث إستطاع فيرمى أن يتحكم فى سرعة النيوترون وذلك بخفضه إلى السرعات الحرارية وهى التى كافية وقادرة على حدوث عملية الإنشطار النووى للعناصر. ولقد تم ذلك فى عام ١٩٣٤م عندما أعلن فيرمى وسيرجى الأمريكانيين أنه عند قذف ذرة اليورانيوم بالنيوترونات البطيئة* فإن النواة تنشطر ومن ثم يمكن متابعة ٤ أنواع نشطة من الدقائق [دقائق بيتا] وأحد هذه الأنواع الأربعة يعتقد أنه نتيجة لليورانيوم ٢٣٩ المشع والغير موجود فى الطبيعة والذى حدث نتيجة التفاعلات النووية لذرة اليورانيوم ٢٣٨ الموجودة فى الطبيعة. كما لوحظ أيضاً أنه فى حالة إنحلال دقيقة بيتا مرة ثانية فإن اليورانيوم ٢٣٩ يتحول إلى عنصر جديد عدده الذرى ٩٣ ووزنه الذرى ٢٣٩ ثم تتكرر هذه العملية مرة ثانية بإنحلال دقيقة بيتا أخرى إلى أن يصل العدد الذرى إلى ٢٩٤. وبناء على هذه النتائج توصل فيرمى وسيرجى إلى أنه نتيجة لهذا النشاط المتعدد فإنه من الممكن الحصول على عناصر جديدة غير مستقرة وأعدادها الذرية تتزايد

---

* النيوترون البطىء هو عبارة عن نيوترون فى حالة توازن حرارى مع الوسط الذى يحيط به، وقد لوحظ أن النيوترونات البطيئة هى التى قلت سرعتها بفعل المعدل حتى تصل إلى ٢٢٠٠ متر لكل ثانية وذلك عند درجة حرارة الغرفة وذلك بالمقارنة بالسرعات الشديدة الإرتفاع التى كانت عليها وقت بدء الإنشطار.

من ٩٢ حتى تصل إلى ٩٤ وربما أكثر من ذلك، وهذا ما أطلق عليه بعناصر عبر اليورانيوم* .

فى الحقيقة أن الإكتشاف العظيم لـ فيرمى وسيرجى أدى إلى الإهتمام الشديد من قبل علماء الكيمياء والفيزياء النووية فى أوربا والولايات المتحدة على السواء. ولقد كان الهدف الأساسى هو التعرف الكامل على العناصر الجديدة – ومن بين هؤلاء العلماء هان وميتنير من برلين، وجوليوت – كورى من باريس وهم من مشاهير علماء الكيمياء الإشعاعية ذوى الخبرة العالية فى هذا المجال – ولقد كانت الإجراءات العامة التى إستعملت فى أبحاثهم مقامة على أساس تقنية الحامل – حيث أن الغرض من إستخدام هذا الحامل هو فصل الكميات الغير مرئية للعنصر الجديد والعنصر الثابت معاً التى خصائصه الكيميائية معروفة مسبقاً.

وإستمرت التجارب على قدم وساق حتى أعلن فى عام ١٩٣٨م أن هان وإستراسمان توصلا من خلال التجارب التى تمت على أساس إختيار عنصر الباريوم كحامل إلى ثلاثة أنواع مختلفة من الأنشطة "أضيفت إليها الرابعة بعد ذلك" نتيجة لتحطيم ذرة اليورانيوم بالنيوترونات حيث تم

---

* عناصر عبر اليورانيوم : عى عناصر أعلى من اليورانيوم فى الجدول الدورى لترتيب العناصر حيث أن عددها الذرى يزيد عن ٩٢ – وتتكون جميع عناصر عبر اليورانيوم صناعياً وهى مشعة. وحتى عام ١٩٧٠م تم التوصل إلى ١٣ عنصراً هم : [نبتنيوم، بلوتنيوم، أمريكيوم، كوريوم، بركليوم، كالفيورنيوم، اينشتينيوم، فرميوم، مندلفيوم، نوبليوم، لورنسيوم، كورشاتوفيوم ثم هانيوم].

ترسيبهم مع الباريوم. وفى تجربة أخرى مشابهة لنفس العنصر على الراديوم، تبين أن حدوث الأنشطة كانت بسبب نظائر* الراديوم الجديدة وذلك على الرغم من أن تكوين الراديوم [ذو العدد الذرى ٨٨] من اليورانيوم يتطلب فى نفس الوقت خروج دقيقتان ألفا – ولكن لم يحدث أية دلائل على ذلك – ولقد علل هان وإستراسمان ذلك بأنه بعد إنحلال نظائر الراديوم فإن النواتج تم ترسيبها مع اللانثانوم الذى يعمل كحامل – ويتوقع حدوث نفس الشىء لنظائر عنصر الأكتينيوم ذو العدد الذرى ٨٩ وذلك نظراً لأن عنصر الأكتينيوم متشابه مع عنصر اللانثانوم من الناحية الكيماوية. وفى نفس الوقت مدام جوليوت كورى – كورى وسافيتش كانا يقومان بفحوص مفصلة لمنتج محدد [وذلك عن طريق فترة نصف الحياة** والتى تقدر بـ٣,٥ ساعة] تم الحصول عليه نتيجة قذف ذرة

---

* النظائر هى كما أشرنا قبلاً عبارة عن صور مختلفة من ذرات العنصر الواحد لها نفس العدد الذرى ولكنها تختلف فى عدد الكتلة لإختلاف عدد النيوترونات بها – ولقد وجد أنه لمعظم العناصر أكثر من نظير واحد وقد يكون بعضها مشعاً، كما تحتوى كثير من العناصر الطبيعية على خليط من نظائرها.

** **فترة نصف الحياة** : نود هنا أن نشير إلى أن كل عنصر مشع لايتم التحول النووى فى جميع ذراته فى وقت واحد، ولكن يتم التحول فى نسبة معينة من نوى ذراته فى كل ثانية – ويلاحظ أن هذه النسبة تكون ثابتة للعنصر المشع الواحد، ولا تتأثر بأى مؤثر كما أن أنسب طريقة لقياسها هى النصف حياة. وتعرف فترة النصف حياة على أنها الزمن اللازم ليفتت فيه نصف عدد نوى هذا العنصر – وتتفاوت فترات النصف حياة بين أجزاء من المليون من الثانية أو تكون بالبلايين من السنين فى بعض الأحيان. مثال : إذا بدء بجرام راديوم فإنه يتبقى منه ١/٢ جرام بعد مرور ١٥٩٠ عاماً، بينما يتحول النصف جرام الآخر إلى غاز

اليورانيوم بالنيوترونات. إلا أن هان إعتبر أن منتج جوليوت – كورى وسافيتش نظير الأكتينيوم وذلك لأنه إنفصل مع اللانثانوم. لكن كورى وسافيتش وجدا أن الترسيب المقطر للأوكسلات من محلول حامض النيتريك يحتوى على الراديوم ٣,٥ ساعة نصف حياة الذى يتركز مع اللانثانوم بدلاً من الأكتينيوم. ولقد كان من الواضح أن هذه المادة لم تكن على الإطلاق نظير الأكتنيوم، ومن ثم فإن كورى وسافيتش أعلنا فى النهاية أن خصائص الراديوم ٣,٥ ساعة هى نفس خصائص اللانثانوم – ولكن كانت هناك بعض الشكوك من أن هذا النشاط نتج عن اللانثانوم إلا أن هذه الشكوك سرعان ما تبددت.

فى الواقع أن إكتشاف كورى وسافيتش أذهل هان وإستراسمان وذلك لأنه أدى إلى حدوث تطور جديد فى مجال تحول العناصر – وعليه فقد أعلن عالم الكيمياء الإشعاعية الكندى كوك فى سبتمبر ١٩٣٨م الذى كان يزور ألمانيا فى ذلك الوقت بالآتى :

نظراً لأن كورى وسافيتش أمكنهما تحويل الأكتينيوم إلى لانثانوم، فإنه من المتوقع أن تكون الذرة الأم (الراديوم) فى الحقيقة باريوم. وبناءً على تصريحات كوك قاما هان وإستراسمان بتجاربهم فى محاولة للتعرف

هليوم ورادون، ثم يتبقى منه ١/٤ جرام بعد مرور ١٥٩٠ عاماً أخرى – وهكذا يكون فترة نصف الحياة لعنصر الراديوم المشع هى ١٥٩٠ عاماً.

ملحوظة : فترة نصف الحياة لكل من الهيليوم ٥ (٢×١٠^{-٢١})ثانية، هيدروجين٣ $(١٢,٣)$ سنة.

على ما إذا كان نظير الراديوم هو فى الحقيقة راجع إلى نظير مشع أو ينسب إلى أحد صور الباريوم – ولكن لدهشتهم وجدا أن الأجزاء النشطة غير منفصلة من الباريوم، وذلك على الرغم من إحتمال فصلها من الثوريوم المشع وهو المعروف بنظير الراديوم. وعليه ففى أوائل يناير عام ١٩٣٩م علق هان وإستراسمان على ذلك بالأتى :

لقد توصلنا إلى أن نظائر الراديوم لها خصائص الباريوم، هذا بالإضافة إلى أننا أصبحنا نتعامل مع هذه المواد الجديدة على أنها باريوم وليست راديوم. ونظراً لأنهما كانا غير متوقعان لهذه النتيجة، فقد كانا مترددان فى أخذ القرار النهائى، ولقد علقا على ذلك بالأتى :

من الناحية الكيميائية نستطيع أن نقول أنه يجب تغيير رموز الراديوم، الإكتنيوم، والثوريوم فى خطتنا وذلك بالباريوم، اللانثانوم والسيزيوم– ولكن من ناحية الكيمياء النووية " والكلام على لسان هان وإستراسمان " فنحن لا نستطيع أن نتخذ القرار الذى سيتناقض مع جميع التجارب السابقة فى الفيزياء النووية. ولكن قد بدا بعد ذلك أن هان وإستراسمان قد عقدا العزم على إتخاذ قرار نهائى. فهما قبل ذلك وجدا أن أحد عناصر عبر اليورانيوم كان مشابهاً لعنصر الرينيوم ومن ثم فقد إفترضا أنه مشابه أعلى – ولكن عندما تحقق إفتراضهما من أن الراديوم هو باريوم بدا لهما أن الناتج المنتسب إلى عنصر الرينيوم من المؤكد أن يكون مشابه أقل وليس أعلى [حيث أن عدده الذرى هو ٤٣ وقد كان يقال

عنه قبل ذلك ماسوريوم]. ولقد كان من نتيجة ذلك أن أعلنا هان وإستراسمان أن مجموع أعداد كتل الباريوم والماسوريوم هو على الترتيب ١٣٨+١٠١=٢٣٩ وهو نفس مجموع كتل اليورانيوم والنيوترون. ولقد تبين من ذلك أنهما أرادا أن يوضحا أن النيوترون الذى يقسم نواة اليورانيوم إلى جزئين متقاربين فى الوزن هما أقرب كثيراً إلى كتل كل من الباريوم والماسوريوم. [فى الحقيقة أن هذا النوع من التفاعلات النووية لم يعلن عنه من قبل ومن ثم فقد كان هان وإستراسمان هما أول من أعلنا عنه]. ولكن فى هذه النقطة بالتحديد تروى بعض السجلات عن أن فكرة هان وإستراسمان لم تكن الأولى حيث قام بعرضها فيرمى لأول مرة عام ١٩٣٣م، ولكن هان وإستراسمان لم يؤخذاها بجدية عندما أعلن عنها – ولكن على أية حال نستطيع القول بأنهما أكدا صحة ما أعلنه فيرمى الأمريكى. إلا أن السجلات أشارت إلى شيئاً أخر وهو الخاص بعنصر الرينيوم الذى أشار إليه هان وإستراسمان، فلقد بدا واضحاً أيضاً أنه لم يكن إكتشافاً جديداً .... بل أن أول من إكتشفه هى مدام إيدا نوداك الكيميائية من ألمانيا وذلك فى عام ١٩٢٤م، ولقد إتضح ذلك من خلال مقال كتبته عن العنصر ٩٣ والذى كانت فيه تنتقد العلماء الإيطاليين [إلا أننا سنكتفى هنا بما قالته حول تفاعلات اليورانيوم عند قذفها بالنيوترونات]

فقد قالت مدام إيدا :

إننا نجد فى هذا النوع الجديد للإنحلال النووى تفاعلات نووية على جانب كبير من الأهمية. فمن المعقول والممكن تصوره هو قذف النواة الثقيلة بالنيوترونات حتى يتم تحطيم النواة إلى شظايا كبيرة – وهذه الشظايا هى عبارة عن نظائر للعنصر المعروف لنا إلا أنها (أى هذه النظائر) غير متشابهة. فى الواقع أن أهم منجزات هان وإستراسمان ما هى إلا تطويراً لإكتشافات فيرمى الأمريكى ومدام إيدا الألمانية – إلا أن هذا لم يتوقف عند هذا الحد، ففى يناير ١٩٣٩م أعلنت مدام ميتنير* الألمانية فى خطابها الذى نشر باللغة الإنجليزية فى المجلة العلمية "الطبيعة" الأتى :

يبدو عند إلقاء أول نظرة على النتائج التى حصلا عليها هان وإستراسمان أنها صعبة الفهم. وفى الحقيقة أن تكوين العناصر الأقل كثيراً من اليورانيوم قد تم وضعها فى الإعتبار من قبل، لكنها كانت دائماً مرفوضة لأسباب فيزيقية وذلك لأن الأدلة الكيميائية لم تكن واضحة تماماً لهذه العناصر – فخروج الأعداد الهائلة من الدقائق ذات الشحنات لم توضع فى الإعتبار عند إستخدام المخترفات الصغيرة لحاجز كولومب.

وتضيف مدام ميتنير : ويبدو من الأفكار المطروحة حالياً بالنسبة لسلوك النواة الثقيلة أنها تختلف كلية عن النواة الخفيفة وذلك من ناحية

---

* مدام ميتنير : هى عالمة ألمانية فى الفيزياء النووية، كانت تقيم فى برلين إلا أنها تركتها إلى السويد لكى تعمل مع إبن أخيها فريش الذى كان يعمل قبل ذلك فى معمل عالم الفيزياء النووية بوهر فى كوبنهاجن بالدنمارك.

الإنحلال – ويتوقع أن درجة ثبات نواة اليورانيوم صغيرة ولذا فإنه عند قذفها بالنيوترون فإنها تنقسم إلى جزئين شبه متساويين فى الحجم – ويطلق على طريقة التقسيم هذه "بالإنشطار" *.

وبناءً على ما سبق (إذا حدث إنقسام لنواة اليورانيوم نتيجة إختراقها بأحد النيوترونات) فإن ظهور العناصر الخفيفة مثل الباريوم واللانثانوم ضمن نواتج الإنشطار يعتبر أمر سهل ومن الممكن تفسيره وتفهمه. كما يقول فريش ومدام ميتنير : أنه بسبب الإرتفاع الغير عادى لمعدل النيوترون إلى البروتون** فإن الأجزاء المنشطرة تكون غير ثابتة ومن ثم فإنها تمر فى سلسلة بيتا لإنحلال هذه الأجزاء. وعليه فلقد كانت فترات نصف الحياة لأعضاء سلاسل الإنحلال هذه موزعة بطريقة غير

---

* الإنشطار : هو مصطلح إقترحه عالم الأحياء الأمريكى أرنولد الذى كان يعمل فى كوبنهاجن مع العالم هيفيسى – وقد كانت تستعمل هذه الكلمة قبل ذلك الوقت فى وصف تقسيم الخلايا الموجودة فى الأعضاء الحية – أما فى المجال النووى فهى تعنى إنفلاق نواة ثقيلة إلى قسمين متساويين تقريباً هما نواتى عنصرين أخف منها ويكون هذا الإنشطار مصحوباً بإنطلاق كمية ضخمة نسبياً من الطاقة وإثنين أو أكثر من النيوترونات، ويحدث أحياناً أن يتم هذا الإنشطار تلقائياً وذلك بفعل الإمتصاص النووى لأشعة جاما أو النيوترونات أو أية دقائق أخرى.

** البروتون والنيوترون من الجسيمات الثقيلة فى نواة الذرة – وتبلغ كتلة البروتون حوالى $١,٦٧٢٥ \times ١٠^{-٢٧}$ من الكيلوجرام، وكتلة النيوترون $١,٦٧٤٨ \times ١٠^{-٢٧}$ من الكيلوجرام – أما لشحنة البروتون فهى $+١,٦ \times ١٠^{-١٩}$ كولوم أما شحنة النيوترون فهى صفر.

صحيحة لعنصر عبر اليورانيوم. ويبدو واضحاً مما سبق أن الدلائل والبراهين التى أدت إلى إكتشاف ظاهرة الإنشطار النووى هى فى الأصل كيميائية – حيث أنها وضعت على أساس إفتراض تطابق أحد النواتج الإنشطارية مع الباريوم. وبالإضافة إلى ما أعلناه فريش وميتنير فقد تصورا أن الإنشطار النووى يصحبه دائماً خروج كمية هائلة من الطاقة – ومن ثم فقد وضعا نظريتهم الخاصة بالإنشطار النووى والتى اعتبرت فاتحة عهد جديد فى مجال الطاقة النووية – وتقول هذه النظرية :

أنه عند إصطدام نواة ذرة اليورانيوم بأحد النيوترونات فإن النواة تنشطر وتتطاير الشظايا الناتجة عن هذا التصادم فى جميع الإتجاهات وبسرعات عالية ويصاحب عملية الإنشطار هذه خروج كميات كبيرة متحررة من الطاقة، وعلاوة على ذلك فإن أنشطة الجزيئات الذرية تساعد على إنتاج التأين الهائل فى طريقها. وبعد أيام قليلة من وضع نظرية الإنشطار النووى إستطاع فريش من خلال تجاربه أن يثبت [هذا بمساعدة غرفة التأين وجهاز تضخيم الصوت] أن تحطيم نواة اليورانيوم عند قذفها بالنيوترونات تؤدى إلى تحرير الجسيمات بإستثناء القوى المتأينة – وبهذا إستطاع فريش أن يؤكد صحة نظريته.

أما على الصعيد العالمى فإن ما حدث هو الأتى : قبل أن يبدأ فريش تجاربه الأخيرة كان قد أبلغ نيلز بوهر العالم الفيزيائى الدانماركى عن تصوره الخاص بنظرية الإنشطار النووى. وعليه ففى أثناء زيارة

بوهر* للولايات المتحدة الأمريكية صرح بهذه المعلومات الجديدة فى العديد من الأماكن التى طرقها،هذا بالإضافة إلى التقرير الذى قدمه فى المؤتمر الدولى للفزياء النظرية فى واشنطن دى.سى. فى ٢٦ يناير ١٩٣٩م.

وفور تقديم بوهر التقرير الخاص بالإنشطار النووى بدأ العلماء الأمريكان فى القيام بإجراء تجاربهم وذلك للتأكد من صحة المعلومات التى أدلى بها بوهر والتى تمثلت فى إكتشاف قدرة التأين الشديد المتوقع من نواتج الإنشطار النووى. أما على الجانب الأخر من الأطلنطى وبالتحديد فى منتصف فبراير ١٩٣٩م إستطاع فريش أن يؤكد ما أعلنه لبوهر وذلك من

---

* بوهر : نيلز بوهر " العالم الدانمركى " إستطاع أن يضع نموذجاً جديداً للذرة حيث تغلب فيه على الصعوبات التى واجهت رذفورد، فقد راعى بوهر فى ضوء دراسته لنظرية الكم لـ بلانك وطيف ذرة الهيدروجين ما يساعده لوضع نظريته للذرة والتى تتمثل فى الأتى :
أن الالكترونات تدور حول النواة وذلك فى مستويات طاقة محددة وذلك دون أن يفقد الالكترون أية جزء من طاقته، كما أن للالكترون طاقة معينة تتوقف على بعد مستوى دورانه من النواة وتتزايد هذه الطاقة بإنتظام كلما بعد هذا المستوى عن نواة الذرة – ويعبر عن طاقة كل من المستويات هذه بعدد صحيح يسمى بالعدد الكمى ويبدأ بالرقم ١ للمستوى الأول والرقم ٢ للمستوى الثانى وهكذا – كما أن الالكترون لايفقد ولايشع أية كمية من طاقته فى الظروف العادية ولكن إذا تعرض لأى مصدر خارجى كالتسخين أو التفريغ الكهربى فإن الذرة تصبح غير مستقرة ومن ثم يقفز الالكترون من غلافه إلى غلاف خارجى له مستوى أعلى من الطاقة – وتسمى هنا كمية الطاقة اللازمة لإنتقال الكترون واحد من مستوى لأخر يعلوه بالكوانتم – ويظل الالكترون يدور فى المستوى ذو الطاقة الأكبر لمدة قصيرة ثم يعود بعد ذلك فاقداً ما إكتسبه من طاقة على هيئة إشعاع طيفى له تردد مميز، ويلاحظ أنه كلما زادت المسافة بين المستويات التى يتحرك فيها الالكترون كلما زاد تردد الطيف المنبعث.

خلال تجاربه والتى أشرنا إليها قبلاً. وبالفعل توصلت الجامعات الأمريكية إلى النتائج التى أيدت تماماً صحة نظرية فريش، ومن هذه الجامعات : جامعة كولومبيا، جون هوبكينس، كاليفورنيا ثم معهد كارينجى بواشنطن.

وبالإضافة إلى الأدلة التى أكدت أن الإنشطار النووى مشتق من تأثيرات التأين والغرفة المعتمة – إستطاع جوليوت فى باريس إكتشاف أن الشظايا المنشطرة كانت تتطاير بسرعات عالية من طبقة يورانيوم رقيقة وتتجمع على سطح موضوع على مسافة قصيرة. وفى الدانمارك حصل فريش وميتنير على نفس نتيجة جوليوت ولكن بإستعمال سطح الماء لتجميع النواتج المرتدة. أما فى الولايات المتحدة الأمريكية فقد إستطاع ماكميلان أن يبين من خلال تجاربه أن الجسيمات المنشطرة لها مسافة تقدر بحوالى ٢,٢ سم فى الهواء العادى. ولقد كان هناك إتفاق على أن النويات التى خرجت من اليورانيوم وجدت أنها تملك خصائص إشعاعية مثل التى كانت فى وقت ما تنسب إلى عناصر عبر اليورانيوم.

فى النهاية نود أن نقول وبإختصار شديد أن إكتشاف الإنشطار النووى قام أساساً على معرفة نواتج الإنشطار – وربما أهم المجادلات التى تمت فى هذه الإكتشافات كانت تعود إلى إنشطار أنوية اليورانيوم بالنيوترونات. فبالإضافة إلى اللانثانوم والباريوم (قد أشرنا إليهما من قبل) اللذين يعتبران الأصل فى إكتشاف الإنشطار النووى – فقد كان جوليوت –

كورى وسافيتش فى فرنسا، فيرز وبريتسكير فى إنجلترا، أبيلسون فى الولايات المتحدة الأمريكية، هان وإستراسمان فى ألمانيا، ثم هاين وأتين وباكير فى هولندا - جميعاً توصلوا إلى تكوين (سواء الشظايا المنشطرة أو النواتج المنحلة إشعاعياً) عناصر عديدة متوسطة فى العدد الذرى وهى كالأتى :

برومين ،	كريبتون ،	إسترونيتوم ،	موليبديم
إكسينون ،	سيزيوم ،	ريوبيديوم ،	أنتيمونى
تيليوريم ،	أيودين		

فى الواقع أن معظم الأعمال التى تم إنجازها فى الفترة الأخيرة لم تأخذ أكثر من ٣ شهور من العمل المتواصل وهذا يعد إنجاز هائل فى عملية الإنشطار النووى وذلك منذ إعلان فريش عن نظريته الخاصة بالإنشطار النووى.

فمما لاشك فيه أن الوصف السابق لإنشطار اليورانيوم بواسطة النيوترونات البطيئة اعتبر بالفعل أول وأهم حدث فى تاريخ الإنشطار النووى والطاقة النووية - بالإضافة إلى ذلك نجد أن النتائج التى نشرت عن أن نويات العناصر ذات العدد الذرى الكبير يمكن إنشطارها بالنيوترون البطيء كما أن الجسيمات أو الدقائق النووية لها القدرة على إنشطار الذرة*

---

* الذرة : لقد كان التفكير السائد عن الذرة هو أنها جسيم مادى غير قابل للإنقسام بالأساليب الكيميائية - كما أنها كانت تعتبر حجر البناء الأساسى فى العناصر الكيماوية وتختلف

فعلى سبيل المثال : وجد أنه من الممكن أن يتم إنشطار اليورانيوم بالنيوترونات** ذات الطاقات المختلفة وهى : البطيئة والمتوسطة

العناصر مثل الحديد والرصاص والكبريت عن بعضها البعض لأنها تحتوى على أنواع مختلفة من الذرات. ولكن بتقدم التجارب والإكتشافات تم التوصل إلى أن الذرة تحتوى على قلب داخلى أشد كثافة هو النواة ووسط خارجي أقل كثافة يحتوى على الكترونات في حالة حركة حول النواة وتعتبر الذرات متعادلة كهربياً. إلا أنه بعد ذلك تم التوصل إلى أن الذرة لم تتركب فقط من الدقائق الأولية الثلاث وهى الالكترون والبروتون والنيوترون بل من بعض الجسيمات الأولية الهامة وهى :

أ- الفوتون وكتلته تساوى صفر فى حالة السكون وشحنته أيضاً تساوى صفر.

ب- الجسمات الخفيفة وهى : النيوترينو، والالكترون والبوزيترون.

جـ- الجسيمات المتوسطة وهى : الميزون الخفيف وهو يساوى ٢٠٩ كتلة الكترون، ميزون باى المتعادل ويساوى ٢٦٦ كتلة الكترون، ميزون باى ويساوى ٢٧٦ كتلة الكترون، الميزون الثقيل ويساوى ٩٩٦ كتلة الكترون.

د- الجسيمات الثقيلة وهى : البروتون، النيوترون، الهيبرون طبدا، الهيبرون سيجما، والهيبرون إكسى.

** نود أن نشير إلى أن زيادة سرعة وطاقة الجسيمات المشحونة مثل الالكترونات أو البروتونات أو الأيونات الثقيلة تتم عن طريق إستخدام المعجل والذى يقوم بذلك عن طريق إستخدام القوى الكهربية أو المغناطيسية أو الإثنين معاً - وتعمل المعجلات على جعل الجسيمات تتحرك بسرعات تقترب من سرعة الضوء - وهى تشمل الأنواع الأتية : معجل البيتاترون، معجل كوكروفت مع والتن والسكلوترون، معجل الخطى والسيكروسيكلوترون والسيكروترون ومولدات فان دى جراف.

فبالنسبة للسينكرو سيكلوترون فإنه يتناقص فيه تردد جهد التعجيل مع مضى الزمن حتى يتوافق تماماً مع الدورات البطيئة للجسيمات المعجلة - وينتج معدل تناقص عجلة الجسيمات من زيادة الكتلة بفعل الطاقة (كما تنص على ذلك النظرية الخاصة النسبية). أما السينكروترون فهو معجل يتم فيه تعجيل الجسيمات حول مسار دائرى بفعل المجالات الكهربية ذات التردد الإشعاعى وتجرى زيادة المجالات المغناطيسية للتوجيه وللتركيز فى

والسريعة (وهذا بالنسبة لليورانيوم ٢٣٥). أما اليورانيوم ٢٣٨ الأكثر ثقلاً، فقد وجد أنه يتطلب نيوترونات سريعة تصل طاقاتها إلى مليون الكترون فولت* - أما النويتان الأخريتان والغير موجودتان فى الطبيعة وهما اليورانيوم ٢٣٣ ذو العدد الذرى ٩٢، والبلوتونيوم ٢٣٩ ذو العدد الذرى ٩٤ فيمكن إنشطارهما بالطاقات المختلفة للنيوترونات وهى البطيئة والمتوسطة والسريعة. أما بالنسبة لذرات العناصر الأخرى ، فقد وجد أن انشطار الثوريوم يتطلب نيوترونات سريعة تصل طاقاتها إلى ١مليون الكترون فولت - وبالمثل يحدث ذلك مع ذرة البروتاكتينيوم. بالإضافة إلى هذا فإن عالم الفيزياء الإنجليزى جرانت استطاع فى عام ١٩٣٩م عن طريق استخدام الديوترونات وطاقة قدرها ٩ مليون الكترون فولت أن يحصل على انشطار نوى كل من اليورانيوم و الثوريوم- وفى أقل من عام حصلا جاكو بسين وليسين فى الولايات المتحدة على نفس النتائج.

أما فى عام ١٩٤١م فقد استطاع العلماء الأمريكيين القيام بالعديد من التجارب مستخدمين فى ذلك طاقات مختلفة من الالكترون فولت - فقد

البؤرة فى تزامن متوافق مع الطاقة التى تكتسبها الجسيمات بحيث يبقى نصف قطر المدار ثابتاً.

* الالكترون فولت : هو عبارة عن طاقة الحركة التى يكتسبها الالكترون أو الأيون الموجب الشحنة وذلك عندما يجرى تعجيله تحت فرق جهد كهربى مقداره فولت واحد. ويعادل الالكترون فولت مقدار ١,٦٠٣×١٠$^{-١٢}$ أرج وهو عبارة عن وحدة طاقة وليس وحدة جهد كهربى.

استخدما فيرمى وسيرجى طاقة تقدر بحوالى ٢٣ مليون الكترون فولت لدقائق ألفا – وأيضاً ديسوبر وهافينر استخدما ٧ مليون الكترون فولت للبروتونات – ثم هاكسبى وشوب وستيفنس وويلز استخدموا طاقة قدرها ٦,٣ مليون الكترون فولت لإشعاعات جاما. ومن ثم فقد كانت النتائج جميعاً جيدة – ولكن أطلق على نتائج التجارب الأخيرة اسم الانشطار الضوئى نظراً لأنها تمت بواسطة الإشعاعات.

مما سبق يتضح لنا أن الانشطار النووى لم يتم إلا فى الذرات التى عددها الذرى لا يقل عن ٩٠ ولكن فى عام ١٩٤٧م تم بنجاح انشطار العناصر الآتية :-

البيسمث – الرصاص – الثاليم – الميركيرى

الذهب – البلاتنيوم – التانتالم ـ وقد كان

ذلك كله فى المعمل الإشعاعى "بيركلى" بواسطة استعمال دقائق ألفا، الديوترونات أو بالنيوترونات ذات الطاقة العالية جداً والتى تقدر بحوالى ١٠٠ مليون الكترون فولت أو أكثر.

أما ذرة عنصر البيسمث ذات العدد الذرى ٨٣ فقد تم شطرها بقذائف الديوترونات بطاقة تصل إلى ٥٠ مليون الكترون فولت – بينما نجد أن ذرة عنصر التانتالم ذات العدد الذرى ٧٣ تطلبت دقائق ألفا وطاقة تصل إلى ٤٠٠ مليون الكترون فولت. وبالإضافة إلى مسبب الانشطار النووى (الذى هو ناتج عن اقتحام أحد الجسيمات للنواة) فإن النيوكليدات (التى

أشرنا إليها سابقاً وهى الصور الذرية للعناصر) التى يصل عدد كتلتها إلى ٢٣٠ أو أكثر تنشطر تلقائياً –ولقد اكتشفت هذه الظاهرة فى اليورانيوم ٢٣٨* الموجود فى الطبيعة عن طريق عالما الطبيعة النووية فليرفو وبيتر جاك فى عام ١٩٤١م. [وهنا نود أن نشير إلى كيفية التفاعل المتسلسل** فى أبسط صورة : فى الواقع أنه عند قذف نواة نظير اليورانيوم ٢٣٥ بالنيوترون فإن ما ينتج عنه هو ٣ نيوترونات – ومن ثم فقد تتهيأ الظروف المناسبة ويصيب أحد هذه النيوترونات الناتجة نواة ذرة اليورانيوم ويحدث بها تفاعل نووى آخر وتنطلق ٣ نيوترونات ثانوية جديدة كل منها يستطيع أن يصيب نواة ذرة يورانيوم وتحدث بها تفاعل نووى – وهكذا تستمر التفاعلات النووية لأنوية اليورانيوم تلقائياً – وهذا بالطبع ما نطلق عليه بالتفاعل المتسسلسل – وكما أشرنا من قبل فإن أهمية هذا التفاعل المتسلسل هو فى الأساس يستخدم فى تشغيل المفاعلات النووية لإنتاج الطاقة والنظائر المشعة وأيضاً فى صناعة القنبلة الذرية].

وعليه فتقدر فترة نصف الحياة لليورانيوم الطبيعى ٢٣٨ فى حالة الانشطار التلقائى بحوالى $١٠^{١٦}$ سنة وهذا يعنى أنه فى كل واحد جرام من

---

* **اليورانيوم الطبيعي** : هو بشكله الموجود في الطبيعة ويحتوى على ٠,٧٪ يورانيوم ٢٣٥ مع ٩٩,٣٪ يورانيوم ٢٣٨ وآثار ضئيلة من اليورانيوم ٢٣٤، وهو يسمى أيضاً اليورانيوم المعتاد

** معادلة التفاعل المتسلل هى :

$${}_{92}U^{235}+{}_{0}N^{1}\rightarrow{}_{56}Ba^{141}+{}_{36}Nr^{92}+{}_{30}N^{1}+ENERGY$$

اليورانيوم الطبيعى ما يقرب من ٢٥ نواة فى المتوسط تمر بسلسلة إنشطار تلقائى كل ساعة. ومن ثم فإن معدل الإنحلال الإشعاعى لليورانيوم الطبيعى ٢٣٨ عن طريق خروج دقيقة ألفا هو حوالى ٢ مليون مرة. وحتى تتضح الصورة حول عبارة فترات نصف الحياة سنعطى بعض الأمثلة لنظائر بعض العناصر المتمثلة فى الآتى :

إسم النظير	نصف الحياة	إسم النظير	نصف الحياة
هليوم ٥ أكسجين ١٨ نيتروجين ١٣ كربون ١١ صوديوم ٢٤	٢×١٠^{-١٢} ثانية ٧١ ثانية ١٠ دقائق ٢٠,٥ دقيقة ١٤,٨ ساعة	فوسفور ٣٢ هيدروجين ٣ كربون ١٤	١٤,٣ ساعة ١٢,٣ سنة ٥٧٦٠ سنة

ولكى تتفهم أكثر الغرض من معرفة فترة نصف الحياة نود أن نقول أن المفاعلات النووية التى سنتحدث عنها بالتفصيل بعد ذلك لها نواتج إنشطار متعددة تستخدم فى عمليات توليد الكهرباء بواسطة أنظمة خاصة - كما يتم أيضاً إنتاج أنواع أخرى من الوقود صناعياً فى هذه المفاعلات وذلك عن طريق امتصاص النيوترونات بواسطة عناصر كيميائية كثيرة ومن أهم هذه الأنواع المستخدمة فى الوقود هى العناصر ذات فترات نصف الحياة الآتية :

النظير أو الوقود المستعمل	فترة نصف الحياة	مصدر الوقود
كوبالت ٦٠	٥,٣ سنة	إمتصاص النيوترونات
سترنشيوم ٩٠	٢٨ سنة	ناتج إنشطارى
سيزيوم ١٣٧	٣٠ سنة	ناتج إنشطارى
سيزيوم ١٤٤	٢٨٥ يوماً	ناتج إنشطارى
بولونيوم ٢١٠	١٣٨ يوما	إمتصاص النيوترونات
بلوتونيوم ١٣٨	٨٩,٦ سنة	إمتصاص النيوترونات
كوريوم ٢٤٢	١٦٢ يوما	إمتصاص النيوترونات
كوريوم	١٨ سنة	إمتصاص النيوترونات

في الواقع أنه يوجد حوالى ٢٠٠٠ نظير مشع مختلف ، ولكن المشكلة هى أنه لا يوجد من بينها سوى العدد القليل الذى له فترة نصف حياة مناسبة – وعلى كل فهو متوفر بما يكفى لإستخدامه كوقود فى المولدات الكهربية بحرارة النظائر المشعة.

إلقاء بعض الضوء على ما سبق :

إستناداً للأفكار التى تصورها رذفورد فى كامبريدج ثم النجاح الذى حققه نيلز بوهر فى كوبنهاجن، وجد أن الذرة قريبة الشبه بالأنظمة الكوكبية – ومن ثم فقد رؤى أن الذرة أقرب فى التشبيه إلى النظام الشمسى وذلك فى حالة إعتبار أن الشمس تمثل مركز الجسم لهذا النظام والذى يناظره النواه فى الذرة التى هى متعادلة الشحنة وتمثل كتلة الذرة.

أمـا الكواكـب فهـى تمثـل الالكترونـات التـى تـدور فـى مـدارات بيضـاوية أو دائرية الشكل – وفى الحالة العادية للذرة [والتـى تكـون الـذرة فيها متعادلة كهربياً] فإن الشحنة الموجبة للنواة تكون غير متأثرة بالشـحنات السـالبة للالكترونـات الدائـرة فـى مداراتهـا – هـذا بالإضـافـة إلــى أن عــدد الالكترونات السالبة يساوى عدد البروتونات الموجبة الموجودة بالنواة.

ونظراً لأن الشحنات جميعاً شبه متقاربة لذا فإن شحنة النواة عبارة عن العدد الكلى وذلك إذا أخذ فـى الإعتبـار الشـحنة الالكترونيـة علـى أنهـا وحدة. ولقـد تبيـن مـن التجـارب بعـد ذلـك أن هـذا العـدد هـو العـدد الـذرى للعنصر ويرمـز لـه بـالرمز (Z) – وهـذا يعنـى أن – ترتيـب العنصـر فـى الجدول الدورى يرجع إلى الوزن الذرى حيث أنه يبدأ بـالذرة الأخـف وزنـاً والتى تأخذ الرقم ١ ثم الذرة الأثقل قليلاً تأخذ الرقم ٢ وهكذا.

فعلـى سـبيل المثـال نجـد أن ذرة الهيدروجيـن [وهـى أخـف أنـواع الذرات] تتكون من نـواة [يقـال عنهـا أحيانـاً بروتـون] مـع شـحنة موجبـة عددها واحد ومحاطة بالكترون واحد يدور فى مدارها وشـحنته سـالبة. أمـا الذرة الثانية فهى الهليوم وتتكون من نواة [يقال عنها أحياناً دقيقة ألفا] ولها شحنة موجبة وعددها ٢ ويحاط بها ٢ الكترون يدوران فى مدارها – وهكذا بالنسـبة لبقيـة العنـاصر الأخـرى. ويلاحـظ أن العـدد الـذرى يســاوى عـدد الالكترونات الموجودة فى الذرة المتعادلة – وإليك بعض الأمثلة:

العنصر	العدد الذرى	العنصر	العدد الذرى
ليثيوم	٣	نحاس	٢٩
كربون	٦	فضة	٤٧
نيتروجين	٧	ذهب	٧٩
أوكسجين	٨	راديوم	٨٨
صوديوم	١١	يورانيوم	٩٢
كلورين	١٧		
حديد	٢٦		

أما بالنسبة للذرات الثقيلة مثل الذهب فإن الالكترونات الكثيرة الموجودة بها تقوم بالدوران حول مداراتها ولكن ذلك بطريقة مختلفة عن تلك التى تحدث بين الكواكب والشمس. وبخصوص المعالجات الكيميائية فإن ما يحدث للذرة المتعادلة هو أن تفقد واحداً أو أكثر من الالكترونات ومن ثم فإنها تتحول إلى أيون. أما الذرات المشكونة كهربياً أو الجزيئات الذرية فإن ما يطلق عليها هو أيونات. فذرات الفلزات القلوية وهى الليثيوم، صوديوم، بوتاسيوم، ريوبيديوم، والكيزيوم جميعها تميل إلى فقد الالكترون الأكثر بعداً والموجود فى الغلاف الخارجى – بينما بعض الذرات الأخرى لعناصر الهلوجين وهى : الفلورين، كلورين، برومين، ثم الأيودين فهى على العكس إذ أنها تميل إلى ضم الالكترون الشارد إلى أغلفتها ومن ثم فتصبح أيون سالب.

الفصل الثانى

التفاعلات الكيميائية

فى الواقع أننا نقصد هنا الكيمياء الحرارية والتى هى فرع من الكيمياء وتختص بدراسة التغيرات الحرارية المصاحبة للتفاعلات الكيميائية– وحسب قانون بقاء الطاقة [الطاقة لا تفنى ولا تخلق من عدم]، نجد أن كل مادة تملك قدراً معيناً من الطاقة هى عبارة عن طاقة حركة وطاقة وضع – ومن ثم فتعتبر الطاقة الكيميائية صورة من صور طاقة الوضع حيث تكون مختزنة فى المادة نتيجة تركيبها. وكما كلنا يعلم أنه فى حالة حدوث تفاعل كيميائى فإن ما ينتج عنه هو إنبعاث حرارة ومن ثم فإن المحتوى الحرارى للمواد الخارجة من التفاعل تكون أقل من المحتوى الحرارى للمواد الداخلة فى التفاعل – وعليه فيظهر هذا الفرق فى الطاقة فى شكل حرارة. ويتضح ذلك فى الأتى:

أن المحتوى الحرارى لثانى أكسيد الكربون المتكون يكون أقل من المحتوى الحرارى لذرة الكربون وذرة الأكسجين [أو الطاقة الذاتية] – وهذا الفرق فى الطاقة الذاتية تحول إلى طاقة حرارية منبعثة.

ويمكن توضيخ ذلك بصورة أكثر علمية فى الأتى :

- فى حالة تكوين ثانى أكسيد الكربون فإن ما يحدث هو خروج ٤,١٧ الكترون فولت لكل ذرة كربون وهى تعادل القيمة الحرارية أى حوالى ٨٠٥٠ كيلو كالورى لكل كيلو جرام وذلك فى حالة الكربون النقى.

- أما فى حالة الأكسجين والأيدروجين لتكوين الماء فإن الطاقة الخارجة هى ٢,٥ الكترون فولت لكل جزىء ماء حيث تقدر القيمة الحرارية بحوالى ٢٩٠٠٠ كيلو كالورى لكل كيلو جرام وذلك فى حالة ذرة الهيدروجين.

وعليه فيمكننا أن نتبين الأتى : أن الطاقة التى نتجت عن حرق الوقود مثل الفحم (للحصول على ثانى أكسيد الكربون) أو البترول أو الخشب تعتبر فى الحقيقة نوع من الطاقة النووية وذلك لأنها ناتجة من القوى الكهربيائية لترابط الالكترونات فى الطبقة الخارجية للذرة – وعليه فإن الطاقة الناتجة لجميع التفاعلات الكيميائية هى فى الواقع مقيدة بكمية قليلة من الالكترون فولت أى ذو طاقة محدودة وذلك نتيجة معالجة عنصرى المادة (وبناء على ذلك فإنه لا يتوقع أية زيادة فى حالة وجود أى تفاعلات كيميائية جديدة) الذى يتكون من بناء أو هدم الجزيئات بدون تأثير الأنوية ذاتها.

أما فى حالة الطاقة النووية الناتجة عن الإنشطار النووى فهى عبارة عن الطاقة الخارجة نتيجة المعالجات النووية التى تمت ليست فقط فى الأغلفة الخارجية للذرة بل داخل النواة نفسها ومن ثم فإن الطاقة الناتجة عن هذه التفاعلات النووية تعادل ملايين المرات الطاقة الناتجة عن التفاعلات الكيميائية لنفس العنصر.

بالنسبة للنشاط الإشعاعى، نجد أن الإكتشافات العظيمة التى تمت فى أوائل عقدين القرن العشرين قد أضافت الكثير إلى مجال الطاقة النووية، ولقد كان أهم هذه الإنجازات هو أن الذرات قابلة للتجزأ أو الإنشطار وذلك بإنحلال الكترون أو أكثر من الأغلفة الخارجية للذرة أو عن طريق الإنشطار النووى - هذا بالإضافة إلى إلغاء القاعدة التى كانت تقول أن العناصر لايمكن تحويلها إلى عناصر أخرى متشابهة معها فى نفس الصفات حيث أصبحت متوقفة فقط على المعالجات الكيميائية وذلك لأن الإنحلال النووى قد أثبت تحول العنصر إلى أخر مختلف عنه فى الخواص الكيميائية والطبيعية - وعلاوة على ما سبق وجد أن جميع الذرات الموجودة فى العنصر الواحد ليست متساوية فى الحجم والوزن حيث أن معظم العناصر عبارة عن خليط من ذرات مختلفة الكتل. فى الحقيقة أن عملية الإنحلال النووى التى يتبعها التحول إلى عنصر آخر مختلف عن الأصل لوحظت أول مرة فى العناصر ذات النشاط الإشعاعى.

وعليه فقد وجد أن أحد الأشعة الخارجة من عنصر الراديوم كانت عبارة عن دقائق ألفا التى نتجت أو خرجت من نواة ذرة الراديوم - وهنا نود أن نشير إلى أن دقيقة ألفا عبارة عن نواة ذرة الهليوم، ولذا فإنه بعد إنشطار ذرة الراديوم وخروج دقيقة ألفا فإن عنصر الراديوم يتحول إلى عنصر أخر وهو ما يطلق عليه الرادون - وحسب الخصائص الكيميائية فإننا نجد أن عنصر الرادون يتبع نفس مجموعة الهليوم وذلك من حيث

الغازات النادرة. ومن ثم فإننا نجد أن عنصر الراديوم [الذى هو ضمن مجموعة الفلزات القلوية] مثل الكالسيوم، سترونتيوم، والباريوم قد تحول نتيجة لخروج دقائق ألفا إلى نوعين من الغازات النادرة – ولكن علينا أن نلاحظ أن سلسلة تحولات عنصر الراديوم لم تنته عند هذا الحد وذلك لعدم ثبات وإستقرار عنصر الراديوم ومن ثم فتستمر دقائق ألفا فى الخروج ويتحول عنصر الراديوم إلى راديوم A ثم بعد ذلك إلى راديوم B وهكذا تستمر سلسلة التحولات حتى تصل إلى الراديوم G وهو العنصر الثابت.

ولقد وجد من خلال التجارب التى أجريت على عنصر الراديم G أن خصائصه الطبيعية والكيميائية متشابهة تماماً لعنصر الرصاص، إلا أن الإختلاف الوحيد هنا هو فى الوزن الذرى، فقد وجد أن الوزن الذرى للراديوم G ٢٠٦ بينما عنصر الرصاص الطبيعى هو ٢٠٧,٢.

النظائر :

ويمكن تفهم معنى النظائر من الحالة السابقة وهى الخاصة بالراديوم G وعنصر الرصاص حيث كانت تعتبر الحالة الأولى من نوعها بالنسبة لإختلاف الكتل التابعة لعنصر واحد إلا أنه وجدت بعد ذلك أمثلة أخرى مثل: الثوريوم C، والراديوم C ثم البيسمث. بالإضافة إلى ما سبق فقد تم التوصل إلى أن الخاصية المميزة لتحديد السلوك الكيميائى والطبيعى لذرة أى عنصر لم تعد تعتمد على كتلة الذرة وذلك لإختلافها كما أشرنا قبلاً

ومن ثم تم الإعتماد على شحنتها النووية والتى هى تساوى عدد الالكترونات الموجودة فى حالة تعادل الذرة. وعليه فقد روعى إستخدام مصطلح نظائر للمواد المتساوية فى العدد الذرى والمختلفة فى الكتل الذرية – ويلاحظ ذلك فى الراديوم G الذى هو نظير الرصاص، والراديوم C الذى هو نظير البيسمث. وعلاوة على ماسبق فقد لوحظ أو النظائر تشبه التوائم فى الكثير من الحالات إلا أنها مختلفة فى الكتلة كما أشرنا من قبل. وبالرجوع إلى عام ١٩٢٠م نجد أن أستن الذى كان يقيم فى كامبرديج إستطاع أن يكتشف أن ظاهرة النظائر المشعة ليست مقيدة فقط على العناصر الموجودة فى نهاية قمة جدول العناصر ذات الأوزان الذرية الثقيلة، بل أنها تحدث أيضاً فى العناصر الخفيفة ومن ثم فقد وجد أن غاز النيوم النادر كان أول من بين أنه يتكون من نظيرين كتلتهما ٢٠، ٢٢ – وقد إتضح بعد ذلك أن معظم العناصر تقريباً هى نظائر مختلطة.

وهنا نود أن نلفت النظر إلى أن الهيدروجين كان آخر العناصر التى وجدت مختلطة بنظيرين، فبالإضافة إلى ذرة الهيدروجين الخفيفة التى كتلة نواتها تساوى ١ فقد وجد أن نظيرها الثقيل كتلته تساوى ٢، وهنا يجب أن نلاحظ أن الشحنة النووية فى كلتا الحالتين تساوى ١ وعليه فإن النظير الثقيل لذرة الهيدروجين أطلق إسم الديوتيريم – أما نواة الديوتيريم التى كتلتها تساوى ٢ وشحنتها تساوى ١ أطلق عليها أسم ديوترون. [نود أن نوضح ببساطة أن ذرة الهيدروجين الثقيل هى الديوتيريم، وتحتوى نواة

الهيدروجين الثقيل على ١ بروتون، ١ نيوترون علاوة على البروتون الواحد الذى للهيدروجين العادى]. أما أكسيد الديوتيريم والذى يطلق عليه الماء الثقيل فهو عبارة عن ماء يحتوى بشكل مميز على أكثر من النسبة الطبيعية من ذرات الهيدروجين الثقيل (الديوتيريم) وهى جزء من ٦٥٠٠ جزء مما هو عليه عدد ذرات الهيدروجين المعتاد – ويستخدم الماء الثقيل كمعدل فى بعض المفاعلات وذلك لأنه يبطىء سرعة النيوترونات بشكل فعال، كما أنه له مقطع عرضى منخفض التأثير على إمتصاص النيوترونات.

الفصائل الإشعاعية للعناصر المشعة [ألفا، بيتا، إشعاعات جاما] :

على الرغم من أن الراديوم يعتبر من أهم العناصر المولدة للإشعاعات إلا أن اليورانيوم يعتبر العنصر الوحيد الذى لا منافس له على توليد الإشعاعات، فهو (أى اليورانيوم) العنصر الأول الموجود فى الطبيعة صاحب أعلى رقم للوزن الذرى وعدده أيضاً. فاليورانيوم يمر بسلسلة طويلة من الإنحلال الإشعاعى إلى أن تصل فى النهاية إلى عنصر الرصاص الثابت والمستقر – كما توجد أيضاً سلسلتان من العناصر النشطة إشعاعياً فى الطبيعة ويطلق عليها الأكتينيوم والثوريوم ومن ثم فإن الرصاص هو الناتج النهائى والأكثر شيوعاً فى هذه السلاسل الثلاث.

ويعتبر اليورانيوم صاحب المرتبة العليا فى سلاسل الراديوم والأكتينيوم، أما الثوريوم فهو بمثابة نقطة بدء سلسلة الثوريوم – ولذا فيتوقع علماء الفيزياء النووية أن جميع اليورانيوم والثوريوم الموجودان فى العالم سيتحولان فى النهاية إلى رصاص. إلا أنه يجب ملاحظة أن العمر الزمنى لكل من اليورانيوم والثوريوم طويل للغاية، حيث يقدر الإنحلال النهائى لليورانيوم بحوالى٤,٥ألف عام، أما الثوريوم فقد يصل إلى١٤ ألف مليون عام، ومن بين النظائر المشعة أيضاً يوجد الرادون والراديوم A الذى تنبعث من أنويته دقائق ألفا – كما يوجد فى نفس الوقت نوع أخر من الإنحلال الإشعاعى ويتم ذلك بخروج الكترون من الأنوية الداخلية وهذا النوع يطلق عليه إشعاع بيتا، ولقد ظل يطلق عليه إشعاع بيتا حتى تم التعرف على نوعية هذه الدقائق والتى عرفت بعد ذلك بالالكترونات الخارجة – فدقائق بيتا هى فى الواقع الكترونات خارجة بسرعات عالية جداً من النواة. فى الحقيقة أن دقائق ألفا وبيتا تنتمى إلى طبقة الكرات الإشعاعية المتكونة من قذائف ذرية سريعة الحركة. [ملاحظة : لقد أشررنا فيما سبق خصائص كل من دقائق ألفا وبيتا وإشعاعات جاما].

أما بالنسبة للإنحلال الإشعاعى الصناعى فإن قصته تعود إلى التجارب الكثيرة والدراسات التى تمت بعد إكتشاف الإنحلال الإشعاعى الطبيعى. فالحقيقة أن خروج دقائق ألفا وبيتا من العناصر المشعة ما هى إلا المعالجات التى تحدث تلقائياً وبدون أية مؤثرات أو ضغوط خارجية.

ويعتقد علماء الفيزياء النووية أن هناك ذرة واحدة من بين ٨٤٢٠٠٠ ذرة راديوم وأيضاً ذرتين من ١١ ذرة راديوم منحلة إشعاعياً، وتنحل يومياً وذلك بخروج دقيقة ألفا - ويتم هذا بالطبع بدون أية معالجات كيميائية أو إنشطار نوى عن طريق قذفه بدقيقة أو جسيم سريع لتعجيل الإنحلال الإشعاعى أو إعاقة معدل الإنحلال.

فى الواقع أن النشاط الإشعاعى هو حدث طبيعى للنواة، وذلك لأنه يحدث نتيجة لعدم ثبات البناء الداخلى للذرة الذى يجعلها بالتبعية تميل إلى الإنحلال عن طريق خروج دقيقة ألفا وبيتا. ومن بين جميع العناصر المشعة طبيعياً [بإستثناء حالة واحدة فقط] توجد عناصر ذات شحنات نووية عالية عددها الذرى يتراوح ما بين ٨١ إلى ٩٢ تعانى دائماً من خاصية عدم الثبات والإستقرار ومن ثم فهذه العناصر تنحل إشعاعياً. أما فى الحالة الوحيدة المستثناة من هذه العناصر فهى عنصر البوتاسيوم والذى يبين ضعف شديد فى عملية الإنحلال وذلك عند خروج دقائق بيتا من ذراته - ويرجع سبب ضعف الإنحلال هذا إلى أن الأعداد الذرية فى عنصر البوتاسيوم التى تنحل منها عدد واحد يومياً يكون أكبر ملايين المرات عند مقارنته بمثيله فى عنصر الراديوم، وهذا ما يسبب الضعف الشديد فى عملية إنحلال البوتاسيوم. وعلى الرغم من ذلك فإن ذرات البوتاسيوم ليست مستقرة تماماً ومع ذلك فهى أقل ميلاً للإنحلال الإشعاعى وذلك عند مقارنتها بالذرات الثقيلة التى تحمل شحنات ذرية عالية والتابعة للسلاسل

النشطة إشعاعياً – ولقد وجد أن بعض هذه الذرات غير مستقرة تماماً لدرجة أن نصف كميتها ينحل إشعاعياً فى أقل من ثانية – ومن ثم فإن هذه الذرات لن تبقى فى الطبيعة مالم تولد من جديد بصفة مستمرة من العناصر الأم المنحلة إشعاعياً والتى هى سلاسل العناصر العليا مثل اليورانيوم أو الثوريوم. وهنا نود أن نشير إلى أن الأفكار التى كانت سائدة حتى نهاية الحرب العالمية الأولى بالنسبة لتحويل العناصر نووياً كانت متوقفة فقط على سلاسل العناصر النادرة جداً ذات الأعداد الذرية الكبيرة والتى هى فوق ٩٠، بينما ذرات العناصر الأقل وزناً لم يطرأ عليها أية محاولة لإنحلالها أو إنشطارها نووياً. ولكن التجارب التى تمت بعد ذلك أثبتت أنه بالإمكان تحويل العناصر ذات العدد الذرى الأقل من ٩٠ – وأخيراً تم التوصل إلى تحويل العناصر الخفيفة جداً وذلك إبتداءً من ذرة الهيدروجين ذات العدد الذرى ١ إلى ذرة اليورانيوم الثقيلة جداً والموجودة فى الطبيعة وعددها الذرى ٩٢، وبالإضافة إلى ما سبق فقد أمكن التوصل إلى خلق عناصر جديدة غير موجودة فى الطبيعة يبدأ عددها الذرى بالرقم ٩٣ ويصل إلى ١٠٠.

رذرفورد (رذفورد) :

إن رذفورد هو أول من حقق بنجاح تام تحويل العنصر الخفيف عن طريق قذف ذرة النيتروجين بدقائق ألفا [كتلة ذرة النيتروجين ١٤ وشحنتها ٧] ← وبعد إجراء تجربته خرج رذفورد بالتفاصيل الأتية :

إن دقيقة ألفا السريعة [دقيقة ألفا عبارة عن ذرة هيليوم كتلتها ٤ وشحنتها ٢] إصطدمت بعنف بنواة النيتروجين وعليه فقد إخترقتها ولصقت بها وقد عقب ذلك خروج بروتون من نواة النيتروجين – وقد أدى هذا إلى حدوث تشبع نواة النيتروجين بدقيقة ألفا وأيضاً نتيجة فقد البروتون – ومن ثم فقد أصبحت شحنة النواة كالأتي ٧+٢–١=٨، وعليه فقد أصبحت النواة الجديدة نظير ثقيل ونادر الوجود فى الطبيعة حيث أن كتلته ١٧وشحنته ٨. وبهذه الطريقة أخذ هذا التفاعل الجديد مكاناً [بدءاً من الهيليوم والنيتروجين] لإنتاج الهيدروجين والأكسجين. وعليه فالحلم القديم لكيميائيين القرون الوسطى الخاص بتحويل العناصر والذى ظل طوال القرن التاسع عشر أمر مستحيل إستطاع رذفورد أن يجعله حقيقة لا خيالاً وذلك من خلال نتائج التجارب التى حصل عليها.

فمما لا شك فيه أن إكتشاف رذفورد للنشاط الإشعاعى الصناعى فى عام ١٩١٩م إعتبر بمثابة علم جديد للفيزياء النووية، وفاتحة عهد جديد فى الإنشطار النووى – ومن ثم فقد بدأت الدراسات والأبحاث المكثفة فى التفاعلات والإنشطار النووى تلعب دوراً هاماً فى مجال الفيزياء النووية، ولقد كان من نتيجة ذلك أنه فى خلال أقل من ٢٠ عاماً تم الوصول والتعرف على مئات التفاعلات النووية والتى عن طريقها تم تحويل العديد من العناصر إلى أخرى.

وهنا نود أن نقول أنه لايستطيع أحداً إنكار فضل رذفورد وعظمة إكتشافه فهو يعتبر بحق محول تاريخ فى عالم الطاقة النووية.

كوكروفت و والتون :

فى الواقع أن معدل التقدم فى مجال الإنشطار النووى إرتفع كثيراً فى عام ١٩٣٢م عندما نجح بعض تلاميذ رذفورد ومنهم كوكروفت و والتون فى تحويل عنصر الليثيوم إلى هيليوم وذلك عند قذف طبقة رقيقة من الليثيوم مع أيونات الهيدرجين (وهى البروتونات) التى تم تعجيلها فى المجال الكهربى. وميزة هذه الطريقة تكمن فى إعداد الجسيمات المنشطرة حيث أنها كثيرة جداً فى الكهربية الساكنة وذلك عند مقارنتها بالحزمة الضعيفة لإشعاعات ألفا المنبعثة من المصدر المشع. كما أن هناك ميزة أخرى وهى إمكانية الزيادة الكبيرة لطاقة القذائف الفردية عن طاقة الجسيمات الخارجة من المواد المشعة.

وهنا نود أن نلفت النظر إلى أن الطاقة التى إستعملت فى دقائق ألفا بواسطة رذفورد فى تجربته الرائدة كانت تقدر ببضع ميجا الكترون فولت [١ ميجا الكترون فولت = ١ مليون الكترون فولت] ولكن على الرغم من تقدم كوكروفت و والتون إلا أن كمية الطاقة التى حصلا عليها وهى ٠,٨ ميجا الكترون فولت كانت أقل بكثير من التى حصل عليها رذفورد، ويرجع ذلك إلى أن الطاقة الكامنة فى ماكينة التعجيل كانت لا تزيد عن ٠,٨ ميجا الكترون فولت – ونظراً لأن القيمة المطلقة لشحنة البروتون

تعادل أيضاً شحنة الالكترون [شحنة البروتون موجبة والالكترون سالبة]، لذا فقد كانت طاقة الجسيم التى كانت موجودة فى تجارب كامبريدج فى عام ١٩٣٢م تعادل ٠,٨ ميجا الكترون فولت. ومن ناحية أخرى فقد لوحظ عند إجراء مقارنة بين كلا الجهازين وجد أن جهاز إنشطار الذرة الذى إستعمله كوكروفت و والتون كان متفوقاً على جهاز رذفورد من حيث العدد ولكن جهاز رذفورد كان أكثر تفوقاً من حيث الطاقة اللازمة لقذائف الجسيمات المستخدمة. إلا أن الأمر لم يتوقف عند هذا الحد، فقد حدث بعد ذلك تحولاً كبيراً فى تطور الأجهزة عن طريق بناء ماكينات تحطيم الذرة ذات الطاقات العالية جداً – ولقد كان الهدف الأساسى من هذه الأجهزة هو تعجيل وزيادة سرعة الجسيمات مثل : البروتونات، الديوترونات أو دقائق ألفا وذلك بإستخدام المجال الكهربى بهدف الحصول على الطاقات العالية – وذلك لأنه من المعروف أن كلما زادت طاقة الجسيم كلما كانت فرص إصابة وإنحلال النواة أفضل وأسهل.

وعليه فقد كانت أولى خطوات التطور هذه هى بناء معجلات إستاتيكية ذات الكهربية الساكنة، ولقد كان أول من نجح فى ذلك هو فان دى جراف من الولايات المتحدة الأمريكية عندما قام ببناء مولد ذو كهربية ساكنة بطاقة قدرها ٥ مليون فولت د. سى. وقد كان موصل بقناة كبيرة معزولة لزيادة سرعة البروتونات.

ولقد لقيت هذه النوعية من المعجلات نجاحاً كبيراً وتم إستخدامها في العديد من المعامل، لكن الأبحاث كانت جارية من أجل الحصول على أجهزة أكثر تطوراً من أجل الحصول على طاقات عالية جداً. في الحقيقة أن نوعية معجلات فان دى جراف كانت قدرتها تصل إلى بضع ملايين من الفولت، لكنها لم تستطع تحمل الزيادة الكبيرة والتي تبلغ مئات وآلاف الملايين من الفولت. أما بالنسبة للمعجلات الأكثر تطوراً فإن فكرتها نبعت من التصور الأتي :

تخيل أو تصور أرجوحة تدور في شكل دائرى على محور بدون أى إحتكاك على الإطلاق هذا بالإضافة إلى وجود جهاز يعمل فى نهاية كل دورة تقطعها هذه الأرجوحة وذلك بإعطاء الأرجوحة ضربة معجلة من أجل مضاعفة سرعتها – ويستمر العمل هكذا وبعد الحصول على عدد كاف من الضربات المعجلة يكون قد تم التوصل إلى كمية التحرك الهائلة المطلوبة. ولقد كانت هذه هي الطريقة التي تم تبنيها في نظام تكرار زيادة السرعة والتي إستخدمت أو بنيت عليها الأجهزة الحديثة. ومن بين هذه الأنواع الخاصة بماكينات إنشطار الذرة هى ماكينة السيكلوترون والتى شيدت بواسطة إرنست لورانس فى بيركيلى بولاية كاليفورنيا – أما الماكينات الأكثر تطوراً من السيكلوترون فهى : سينكروترون، بيفاترون ثم كوزموترون وقد حققت هذه الماكينات تقدماً عظيماً فى منح الجسيمات الذرية طاقات عالية للغاية. ولقد وجد فى هذه المعجلات أن أيونات

الهيدروجين أو الديوتيريم أو الهليوم تتحرك فى شكل إنبوبى دائرى مدفوعة بقوة عن طريق وسائل إنحراف المجال المغناطيسى ومن أهم ما يميز هذه الأيونات أنها تجرى فى مسار دائرى. وبتطبيق الدوران المنتظم للمجال الكهربى فى إتجاه المماس فإنه يعطى هذه الجسيمات ضربات متزايدة فى كل مرة تمر هذه الجسيمات خلال المجال الكهربى.

وهنا نود أن نشير إلى أنه قد تم تحقيق زيادة هائلة فى طاقات قذف الجسيم فى السنوات العشرين الماضية – ولكن يتوقع تحقيق زيادة أكبر من ذلك فى المستقبل القريب. وفيما يلى بعض البيانات الخاصة بطاقة الجسيم النووى ونوعية الأجهزة المعجلة الحديثة :

السنة	نوع المعجل	طاقته بالمليون الكترون فولت
١٩٣٢	مولد كاسكادا	٠,٨
١٩٣٢	سيكلوترون	١,٢
١٩٣٦	المولد ذو الكهربية الإستاتيكية	٥,٠٠
١٩٣٦	سيكلوترون	٦,٠٠
١٩٣٩	سيكلوترون	١٠,٠٠
١٩٤٢	سيكلوترون	٦٠,٠٠
١٩٤٨	سينكروترون	٣٨٠,٠٠
١٩٥٢	سينكروترون	١٢٠٠,٠٠
١٩٥٥	سينكروترون	٦٠٠٠,٠٠
١٩٦٠	سينكروترون	٢٦٠٠٠,٠٠

نبذة مختصرة عن السيكلوترون :

السيكلوترون عبارة عن جهاز يستخدم فى تعجيل سرعة الأيونات ولقد قام ببناء هذا الجهاز إرنست لورانس فى عام ١٩٣١م – ويتكون الجهاز [فى أبسط صورة] من غرفتين فارغتين كل منهما على شكل حرف D وبينهما مسافة صغيرة وفى منتصف هذه المسافة يوضع مصدر الأيونات المراد تعجيلها مثل : البروتونات أو الديوترونات أو دقائق ألفا – بالإضافة إلى ما سبق فإن الغرفتان متصلتان بنهايتي دائرة متذبذبة ذات تردد عال بحيث تعمل هذه الدائرة على تبادل الجهد على كل غرفة والذى يصل إلى عدة ملايين من المرات فى الثانية الواحدة.

ونظراً لأن الغرفتان مجوفتان فإن شدة المجال الكهربى داخلهما تساوى صفراً، ولكن شدة المجال بين الغرفتين لايساوى صفراً، وعليه فإن المجال الكهربى بين الغرفتين يعمل على تعجيل الأيون ويزيد من سرعته. علاوة على ما سبق فإن الغرفتان توضعان داخل إناء إسطوانى كبير إلا أنهما معزولتان تماماً عن هذا الإناء، هذا بالإضافة إلى تفريغ الهواء من هذا الإناء الإسطوانى الذى يوضع بأكمله بين قطبى مغناطيسى قوى جداً بحيث يكون إتجاه سير خطوط الفيض المغناطيسى عمودى على قاعدتى الإناء الإسطوانى. وبالإضافة إلى ما سبق يجب ملاحظة الأتى :

- أن القوة الواقعة على الأيون تساوى حركة الأيون فى إتجاه عمودى على إتجاه المجال المغناطيسى مضروبة فى شحنة وسرعة

الأيون - وهذه القوة الواقعة على الأيون تعمل على جعله يتحرك في إتجاهات دائرية.

- بالنسبة لتعجيل الأيون فإنه يمكن إيضاح ذلك بالأتي : إذا إفترضنا أن الزمن اللازم لدوران الأيون نصف دورة هو نفس الزمن اللازم لتغيير نوع قطبية غرفتى الجهاز فإننا نجد أنه في حالة ما إذا كانت الغرفة الأولى سالبة ستكون الغرفة الثانية موجبة وذلك في الوقت الذى يصل فيه الأيون إلى الفتحة الموجودة بين الغرفتين وهنا يحدث تعجيل الأيون فتزداد سرعته وبالتالى يزداد نصف قطر دورانه.

- أما إذا إنعكس إتجاه المجال الكهربى في فترات منتظمة بحيث أن زمن كل فترة من هذه الفترات يساوى الزمن اللازم لدوران الأيون نصف دورة فإن ما يحدث هنا هو أن الطاقة التى يكتسبها الأيون تعمل دائماً على زيادة سرعته وأيضاً زيادة نصف قطر دورانه ومن ثم فإن مسار الأيون يصبح مكون من أنصاف دوائر نصف قطر كل منها أكبر من نصف قطر التى تسبقها - وعليه فتصبح النهاية العظمى لنصف قطر دوران الأيون داخل السيكلوترون هو نصف قطر الغرفة - ونتيجة لما سبق فإن الأيون ينفذ من نافذة ضيقة مفتوحة ومن ثم تمر جميع الأيونات بالقرب من لوح مشحون بشحنة سالبة حيث تقوم مساراتها لتصبح حزمة مستقيمة تحت تأثير قوى الجذب الكهربية وتوضع المادة

المراد قذفها فى طريق هذه الحزمة. (وهذه هى فكرة بسيطة عن معجل السيكلوترون).

فى النهاية نود أن نلفت النظر إلى أن الطاقات الكهربية المعجلة المستخدمة فى الإنشطار الذرى للجسيمات زاد معدل أداؤها إلى ٧٠٠٠ مرة عن أداء عام ١٩٣٢م، كما أنه سيزيد بمعدل كبير يصل إلى ٣٠٠٠٠ مرة وذلك بمجرد تشغيل معجل كوزموترون الموجود فى المركز الأوربى للأبحاث النووية فى جنيف – وتعتبر هذه النوعية من المعجلات من الأعمال الرائعة التى تدل على عبقرية فى مجال الخبرات الرياضية والتكنولوجية على السواء.

ومعجل كورموترون العملاق يبلغ محيطه حوالى ٦٦٠ قدم، وهو لم يستخدم مباشرة فى إنتاج القوى بل على العكس فى إستهلاك القوى. وهذه النوعية من المعجلات العملاقة ليست إلا أدوات تستخدم للمعرفة الحقيقية لتركيب نواة الذرة، ومن ثم فهى بغرض عمل تجارب على درجة عالية من الدقة حول تجميع المعلومات عن القوى النووية – وعليه فيتوقع أن نتائج هذه الأبحاث والتجارب والفحوصات سوف تلقى بعض الضوء على المشكلة الأساسية لتركيب النواة، كما يتوقع أيضاً أنها ستساعد فى حل أكبر مشاكل المستقبل وهى إنتاج الطاقة وبالتحديد فى مجال تنظيم عملية التحكم فى سلسلة التفاعلات النووية الحرارية.

الفصل الثالث
مكونات نواة الذرة

لاشك أن مكونات نواة الذرة لقيت العديد من الأبحاث والدراسات منذ بداية التفكير فى الذرة ولازالت الشغل الشاغل للعديد بل جميع علماء وخبراء الفيزياء النووية. فى الواقع أن الأفكار الحديثة للمكونات الداخلية لنواة الذرة يرجع أساساً إلى الإكتشافات الهامة جداً التى قام بها جيمس تشادويك العالم الإنجليزى فى كامبريدج بإنجلترا.

فبالتحليل الدقيق لنتائج تجارب الرواد الأول مثل بوث وبيكير فى ألمانيا وأيضاً جوليوت وكورى فى فرنسا، وجد جيمس تشادويك أن هذه التجارب من الممكن توضيحها وذلك بإفتراض [لقد إقترح رذفورد ذلك على سبيل التجربة منذ زمن بعيد] وجود جزىء عنصر كتلته شبه مساوية لكتلة البروتون [البروتون هو ذرة الهيدروجين] ولكن شحنته تساوى صفراً - وهذا الجسيم المتعادل الشحنة يسمى نيوترون والذى يعد الأن الأساس فى جميع العمليات النووية حيث أنه يستخدم فى إستخراج الطاقة النووية، بالإضافة إلى ذلك يعتبر الحجر الأساسى فى جميع التفاعلات النووية. وعلاوة على ما سبق وإستناداً إلى معلوماتنا الحالية فإننا نجد أن نويات جميع العناصر تتكون من جسيمين رئيسيين هما البروتون والنيوترون. فى الحقيقة أن عالم الفيزياء الإنجليزى بروت [١٧٨٥ - ١٨٥٠] إقترح ذلك من قبل ولكن بطريقة مختلفة قليلاً.

فقد إقترح بروت أن جميع الذرات ما هى إلا مجاميع لذرات الهيدروجين [بالطبع ذرة الهيدروجين ما هى إلا بروتون] - ومن ثم فقد تبين بعد ذلك أن النواة تتكون من مجموع البروتونات والنيوترونات. ولقد كانت الفكرة الأساسية للعالم بورت تتركز حول أن الأعداد الكلية التى تحدد الأوزان الذرية للعديد من العناصر من الممكن توضيحها عن طريق مكوناتها وهى الخاصة بالجسيمات الأولية المتساوية الشحنة والتى قد تم التأكد منها بعد ذلك بحوالى أكثر من ١٠٠ عام على نشر أفكار بورت الإنجليزى. وبالنسبة لمكونات النواة فيمكن معرفة عددها من الأتى :

فى حالة الرمز إلى الشحنة النووية (العدد الذرى) بالحرف أ، وعدد الكتلة بالرمز ب (عدد الكتلة هو الوزن الذرى)، وعليه فإن مكونات الذرة من النيوترونات ستكون عبارة عن ب - أ، وهنا أ تعنى عدد البروتونات، ب تعنى كتلة الذرة، ولقد أطلق على البروتون والنيوترون اللذين يكونان النواة إسم النيوكلون. بالإضافة إلى ما سبق فإن أحجام النيوكلونات وأيضاً الالكترونات صغيرة للغاية حيث يبلغ قطر كل منها حوالى $١٠^{-١٣}$ سم. كما أن ذرة النظير الأساسى للهيدروجين [الهيدروجين الخفيف] تتكون فى أبسط صورها من بروتون كنواة والكترون يدور فى مسار دائرى حول البروتون بحيث يصل قطر هذا المدار إلى $١٠^{-٨}$سم [مع ملاحظة أن هذا القطر يبلغ ما بين ١٠ آلف إلى ١٠٠ آلف ضعف قطر النواة نفسها].

أما بخصوص ذرات الهيدروجين الثقيل [الديوتيريم فهى تتكون من ديوتيريم وواحد الكترون يدور فى مدارها [الديوتيريم] عبارة عن ١ بروتون + ١ نيوترون]. لكن نواة ذرة الهليوم العادية [دقيقة ألفا] تختلف عن سابقيها فعدد كتلتها ٤ وتتكون من ٢ بروتون + ٢ نيوترون، أما ذرة الهليوم الكاملة المتعادلة الشحنة فهى تتكون من نفس نواة ذرة الهليوم بالإضافة إلى ٢ الكترون يدوران حول النواة.

ولزيادة فى الإيضاح فإن الجدول التالى يفسر مكونات النويات لبعض العناصر، ويحتوى الجدول على القليل من النظائر، وهنا نود أن نشير إلى أن بعض العناصر مثل الكربون والباريوم والراديوم وغيرها تملك العديد من النظائر غير التى موجودة فى الجدول - ويعتقد أن عدد النظائر المعروفة حتى الأن تصل إلى أكثر من ١٠٠٠ نظير.

الرمز	العنصر	عدد كل من	
		بروتون	نيوترون
$_2He^3$	هيليوم	٢	١
$_2He^4$		٢	٢
$_3Li^6$	ليثيوم	٣	٣
$_3Li^7$		٣	٤
$_6C^{12}$	كربون	٦	٦
$_6C^{13}$		٦	٧
$_{56}B^{136}$	باريوم	٥٦	٨٠
$_{56}B^{138}$		٥٦	٨٢

الرمز	العنصر	عدد كل من	
		بروتون	نيوترون
$_{88}Ra^{226}$	راديوم	٨٨	١٣٨
$_{90}Th^{230}$	ثوريوم	٩٠	١٤٠
$_{90}Th^{232}$		٩٠	١٤٢
$_{92}U^{235}$		٩٢	١٤٣
$_{92}U^{238}$	يورانيوم	٩٢	١٤٦
$_{92}U^{239}$		٩٢	١٤٧
$_{93}Np^{239}$	نيبتينيوم	٩٣	١٤٦
$_{94}Pu^{239}$	بلوتونيوم	٩٤	١٤٥

[لمزيد من المعلومات أنظر الملاحق الخاصة بالعناصر ونظائرها]

وبالرجوع مرة ثانية إلى النظائر فإننا نجد أنه إستناداً إلى المصطلحات التى تم إقتراحها فى الولايات المتحدة الأمريكية فى عام ١٩٤٧م فإن مصطلح نظير يعنى أو يشير إلى أعضاء عائلة الذرات المختلفة ذات الأعداد الذرية المتساوية والتى تتبع نفس العنصر، وبصورة أوضح نجد أن النظير ما هو إلا واحد من ذرتين أو أكثر لها نفس العدد الذرى أى أنها من نفس العنصر الكيماوى ولكنها ذات أوزان ذرية مختلفة، ويلاحظ أن أنوية النظائر تحتوى على نفس العدد من البروتونات ولكن بها أعداد مختلفة من النيوترونات - وإذا نظرنا إلى نظائر عنصر الكربون

والتى هى $_6C^{12}$ ، $_6C^{13}$ ، $_6C^{14}$ فإننا نجد أن الأرقام الموجودة أسفل الرمز تدل على الأعداد الذرية المشتركة، كما أن الأرقام الموجودة أعلى الرمز تدل على الأعداد النووية المختلفة أو مجموع البروتونات والنيوترونات، وبالإضافة إلى ما سبق فإن النظائر لها نفس الخواص الكيميائية ولكنها ذات خواص طبيعية مختلفة. وبالإضافة إلى ما سبق نجد أن الهيدروجين العادى والديوتيريم ما هما إلا نظائر وأيضاً الراديوم G والرصاص، ومصطلح نظير الذى يطلق على جميع أنواع الذرات ذات الأوزان الذرية المختلفة والأعداد الذرية المختلفة هو عبارة عن النيوكيلدات التى أشرنا إليها قبلاً والتى يوجد منها ٢٧٤ نيوكليد فى حالة مستقرة وتم الإقرار بهم من قبل العلماء، كما يوجد أيضاً ٥٣ نيوكليد مشع والذين هم مثل نظائر اليورانيوم والثوريوم والسلاسل التابعة لهم. ولقد وجد أن أكبر العائلات بين العناصر الثابتة هى القصدير ونظائره العشرة وأيضاً النيون ونظائرة التسعة. أما الذهب فهو وحيد وله نظير واحد فقط ثابت. ويبدو أن مصطلح نيوكيلدات لم يعترف به بصفة عامة، ومن ثم فلازال مصطلح نظير أكثر إنتشاراً وإستعمالاً فى أوربا عنها فى الولايات المتحدة الأمريكية.

النظائر المشعة :

فى الواقع أن الغالبية العظمى من النظائر التى قامت عليها الأبحاث خلال العقدين الماضيين ليس لها وجود فى الطبيعة على الإطلاق وذلك لأنه تم تخليقها صناعياً عن طريق المعالجات النووية وذلك بتغيير

مكونات النويات – ومن ثم فإنه يتضح لنا أن هذه النظائر ليست عناصر ثابتة وذلك لأنها تختفى بعد فترة من وجودها بواسطة الإنحلال الإشعاعى الذى بالتبعية يعمل على تحويلها إلى نظائر أخرى ربما تكون مشعة أو مستقرة. ولقد تم الإكتشاف الهام للنشاط الإشعاعى الصناعى على يد جوليوت – كورى وإيرين فى عام ١٩٣٤م وذلك عندما وجد أنه عند قذف نواة الألومنيوم ذات العدد الذرى ١٨ والوزن الذرى ٢٧ بإشعاعات ألفا فإن نواة الألومنيوم تمتص دقيقة ألفا وتخرج نيوترون ثم تتحول بعد ذلك إلى نواة مشعة يطلق عليها نظير الفوسفور والتى لم تظهر قبل ذلك الوقت فى الطبيعة على الإطلاق – ويتمثل ذلك فى المعادلة التالية :

$_{١٣}$ألومنيوم^{٢٧} + $_{٢}$هيليوم^{٤} ⟵ $_{١٥}$فوسفور^{٣٠} + $_{صفر}$نيوترون^{١}

وعلى النقيض من الفوسفور الطبيعى الذى عدده الذرى ١٥ ووزنه الذرى ٣١ فإن نظير الفوسفور الجديد [لقد أطلق على هذا النظير الجديد لقب طارد دقيقة بيتا الموجبة أو طارد البوزيترون] يصبح غير مستقر وذلك لأنه طرد دقيقة متساوية فى الكتلة مع الالكترون ولكنها موجبة الشحنة ويطلق عليها البوزيترون، وعليه فإن خروج البوزيترون من النواة يعمل على خفض شحنتها بمقدار واحدة بينما عدد الكتلة أو العدد الذرى لم يحدث به أى تغير، ونخرج من هذا بأن النتيجة النهائية لقذف الألومنيوم بإشعاعات ألفا ستؤدى إلى إنتاج نظير السيليكون ذو العدد الذرى ٣٠، وهنا نستطيع أن نقول أن إكتشاف جوليوت يعتبر بحق فاتحة عهد جديد فى دنيا

العلوم النووية والذى كان من نتيجته أن أصبح المجال انووى أكثر أهمية وخصوبة للعديد من العلماء وخبراء الفيزياء والكيمياء النووية.

وبتوالى الدراسات والأبحاث والتجارب التى حدثت فى العقدين الماضيين تم التوصل إلى أنه ليس هناك نظير واحد مشع للفوسفور بل يوجد ٤ نظائر مشعة صناعياً للفوسفور وذات أوزان مختلفة. ولم تتوقف المعالجات النووية على خلق نظائر للعناصر الموجودة فى الطبيعة فقط وهى الـ٩٢ عنصراً بل تعدتها إلى ماهو أهم وأرقى من ذلك وهو إبتكار عناصر جديدة غير موجودة فى الطبيعة على الإطلاق وهى التى تبدأ من العنصر ذو العدد الذرى ٩٣ وتصل إلى ١٠٤ وربما أكثر من ذلك، ومن بين هذه العناصر الغير موجودة فى الطبيعة [وهى ما يطلق عليها عناصر عبر اليورانيوم التى أشرنا إليها قبلاً] يوجد عنصر البلوتونيوم ٩٤ الشهير بنتائجه المحزنة والذى إستخدم فى صنع القنابل النووية بواسطة الأمريكان لتدمير مدينتى هيروشيما ونجازاكى فى نهاية الحرب العالمية الثانية [بالنسبة لقنبلة هيروشيما فقد راح ضحيتها ٧٠ ألف شخص وإصابة ٧٠ ألف آخرين مع تدمير مساحة أرضية تقدر بحوالى ٤,٧ ميل مربع أما قنبلة نجازاكى فقد بلغ عدد قتلاها ٣٦ ألف شخص وإصابة ٤٠ ألف آخرين مع تدمير مساحة أرضية تقدر بحوالى ١,٨ ميل مربع].

ولكن فضلاً عن الإنشطار النووى وما أحدثه من أضرار بالغة على مدينتى هيروشيما ونجازاكى اليابانية فإننا نجد أن النظائر المشعة

صناعياً سواء الخفيفة أو المتوسطة الوزن والتى أطلق عليها " نظائر مشـعة " برهنت على أنها مواد ذات أهمية كبيرة ومتعددة المزايا فـى إسـتعمالاتها. وفى هذا الصـدد يقـول "جـوردون ديـن" أحـد رؤسـاء هيئـة الطاقـة النوويـة الأمريكية السابقين فى كتابه " تقرير علـى الـذرة " حـول موضـوع النظـائر المشعة الآتـى :

بالفعل، إن النظائر المشـعة تشـكل ربمـا أسـعد وأهـم الفصـول فـى قصة الذرة وذلك لأنها تستعمل فى العلاج المرضـى، فهى تعلمنا الكثير عـن الأمراض وتعمل على تحسين وتطوير المعالجات المرضية، كما أنهـا تزيـد وترفـع مـن الكفايـة الإنتاجيـة للمحـاصيل والمواشـى، وبالإضافـة إلـى ذلـك تساعد الإنسان على المعرفة الأساسية للمعالجات الجسدية والأشـياء الحيـة المحيطة به وأيضاً الطبيعات الموجودة فى العالم.

ومادمنا بصدد موضوع النظائر المشعة لذا فنود أن نشير إلـى أنـه يوجد بعض النظائر المشعة والتى هى عبارة عن بواعـث بيتـا السالبة مثل التـى توجـد فـى عـائلات العنـاصر الطبيعيـة المشـعة والتـى تنحـل بخـروج الكترونات من النواة. والبعض الأخر عبارة عن بواعث البوزيترون والتـى منها على سبيل المثال الفوسـفور المشـع (${}_{١٥}$فوسـفور^{٣٠}) والـذى يعد أول نظير ثم ملاحظته فى تاريخ البشـرية وهنـا قـد يتسـائل البعـض : كيـف يتـم خروج الالكترون من النواة فى الوقت الـذى عرفنـا فيـه مـن قبـل أن النـواة

تتكون من بروتون ونيوترون وليس الكترون. والإجابة على هذا التساؤل تتمثل فى الآتى:

أولاً وقبل كل شيء نود أن نعرف مفهوم الجسيمات الأولية فى الذرة: وهى عبارة عن جسيمات تتكون منها كل المواد والإشعاع، وجميعها عدا البروتونات والالكترونات ذات حياة قصيرة ولا توجد مستقلة فى الظروف العادية، وهى ذات حجم أقل من حجم الذرة ولقد كانت هذه التسمية تطلق على أية جسيمات لايمكن إنقسامها أكثر من ذلك ولكنها بعد ذلك أطلقت على النيوكلونات التى هى عبارة عن البروتونات والنيوترونات وأيضاً تطلق على الالكترونات والميزونات والجسيمات المضادة – ولكن ليس على دقائق ألفا أو على الديوترونات. والأن نعود إلى الإجابة على السؤال السابق – كما أشرنا من قبل أن هناك من الأسباب التى تفترض أن الجسيمات الأولية [البروتون والنيوترون] ليست دائماً غير متغيرة – ولكن ثبت أنه من الممكن تحويلها إلى جسيمات أخرى تختلف عن الأصل. وأحد هذه العمليات هى تحويل النيوترون إلى بروتون والكترون ويتضح ذلك من خلال المعادلة التالية :

$_{\text{صفر}}$نيوترون^{1} $\longrightarrow$ $_{1}$بروتون^{1} + $_{-1}$الكترون$^{\text{صفر}}$ + نيوترينو

أى أنه نتيجة التحلل الإشعاعى الذى يصاحبه إنبعاث أشعة بيتا السالبة فإننا نجد أن شحنة المادة الجديدة ستزيد بوحدة شحنة عن المادة الأصلية – بينما يبقى عدد الكتلة كما هو، وعليه فإن العدد الذرى يزداد

بوحدة واحدة وهى البروتون بينما يخرج الالكترون وبالتالى يقل عدد النيوترونات فى النواة ويزيد عددها بمقدار واحد بروتون أما عدد الكتلة فهو ثابت. ولكن فى حالة خروج أشعة بيتا الموجبة والتى يطلق عليها البوزيترونات فإن ما يحدث هو العكس أى أن نواة المادة الجديدة يزيد فيها عدد النيوترونات ويقل عدد البروتونات عن النواة الأصلية المشعة بواحد - ويحدث ذلك بسبب تحول أحد البروتونات الموجودة فى النواة الأصلية إلى نيوترون وخروج الكترون موجب - ويتضح ذلك من المعادلة التالية :

$_{١}$بروتون^{١} ⟵ $_{صفر}$نيوترون^{١} + $_{١}$الكترون^{صفر} + نيوترينو

مما سبق يتضح لنا أن أية معالجة من هذا القبيل تأخذ مكاناً فى النواة فإنها تعمل على تغيير شحنتها ومن ثم يتم تحويلها إلى ذرة عنصر آخر يختلف عن الأصل.

الطاقة الناتجة عن الإنشطار :

لاشك أن الإنشطار النووى الناتج عن التحولات النووية كان حدث جديد وغير متوقع لدى العلماء والخبراء المتخصصون فى مجال الفيزياء والكيمياء النووية - وذلك عندما ثبت أن عملية الإنشطار النووى يصحبها خروج كميات هائلة من الطاقة المتحررة. فلقد تبين للعلماء من خلال التجارب التى تمت فى عام ١٩٣٩م أن كمية الطاقة التى خرجت نتيجة الإنشطار النووى تقدر بحوالى ٢٢,٢ مليون الكترون فولت.

ولكن هذه الكمية لم تتوقف عند هذا الحد بل زادت كثيراً نتيجة لإجراء التجارب العديدة على العناصر الأثقل وزناً – فقد حصل فريش وميتنير والآخرين من العلماء على طاقة نووية متحررة نتيجة الإنشطار النووى تقدر بحوالى ٢٠٠ مليون الكترون فولت من ذرة اليورانيوم عند قذفها بالنيوترونات. كما توصل العلماء أيضاً إلى أن هذه الطاقة المتحررة تتوقف على كتلة الذرة من حيث كبرها وصغرها وأيضاً على تفاعل الجسيمات أو الدقائق التى تقذف بها الذرة وبالتالى على النواتج النهائية لعملية الإنشطار . ولقد تبين من خلال ذلك أن هناك علاقة بين الطاقة الناتجة عن الإنشطار النووى وكتلة الذرة قبل قذفها بالجسيمات ونواتج الإنشطار النهائى. ويتضح ذلك من خلال نتائج القياسات الدقيقة لكتل الذرات التى تؤكد أن كتلة النواة كوحدة متكاملة أقل من مجموع كتل مكوناتها منفردة، ويبين ذلك نواة ذرة الهليوم التى تتكون من ٢ بروتون + ٢ نيوترون، وهنا إذا حصلنا على كتلة المكونات لنواة الهليوم فهى كالأتى = ٢×١,٠٠٧٥٩ +٢×١,٠٠٨٩٨ = ٤,٠٣٣١٤ وحدة كتلة ذرية.

بينما كتلة نواة الهليوم كوحدة واحدة فقط = ٤,٠٠٧٧ وحدة كتلة ذرية* – نخرج من هذا بأن هناك نقص فى الكتلة يقدر بحوالى = ٤,٠٣٣١٤ – ٤,٠٠٢٧٧ = ٠,٠٣٠٣٧ وحدة كتلة ذرية.

---

* فى الواقع أنه نظراً لصغر كتلة الذرات إذا ما قدرت بالجرام فقد إتفق على إستخدام وحدة أخرى مناسبة لتقدير كتلة الذرات تعرف بإسم وحدة الكتلة الذرية والتى يرمز لها بالرمز

وهذا النقص فى الكتلة يكافئة كمية من الطاقة = ٠,٠٣٠٣٧× ٩٣١,٥ = ٢٨,٢ مليون الكترون فولت [مع ملاحظة أنه تم إهمال كتل الالكترونات فى الذرة لصغرها الشديد بالنسبة لكتلة البروتونات والنيوترونات].

أى أن تكوين نواة ذرة الهليوم من إتحاد إثنين من البروتونات مع إثنين من النيوترونات ينتج عنه خروج كمية من الطاقة تبلغ ٢٨,٢ مليون الكترون فولت، وهذه الطاقة تساوى أيضاً الشغل اللازم بذله لتفتيت نواة

A.M.U. أى Atomic Mass Unit – وتعرف وحدة الكتلة الذرية بأنها ١٢:١ من كتلة ذرة الكربون ذو العدد الذرى ٦ والوزن الذرى ١٢، وحيث أن الوزن الذرى الجرامى لأى عنصر معبراً عنه بالجرامات يحتوى على $٦,٠٢٣ \times ١٠^{٢٣}$ ذرة [وهذا ما يعرف بعدد أفوجادرو] فإن كتلة ذرة الكربون = ١٢÷$٦,٠٢٣ \times ١٠^{٢٣}$x ←——— وعليه فإن وحدة الكتلة الذرية.

= $١,٦٦ \times ١٠^{-٢٤}$جم

= $١,٦٦ \times ١٠^{-٢٧}$كجم

وبما أن الفيزياء النووية تعتمد على تقدير كتل الذرات بالوحدات التى تستخدم فى قياس الطاقة، وهذا راجع لنظيرة النسبية التى تؤيد أن أى كمية من الكتلة يمكن أن تتحول إلى كمية من الطاقة المكافئة لها، وهى تقدر بحاصل ضرب الكتلة × مربع سرعة الضوء-

وحيث أن سرعة الضوء = ٣×١٠^{٨}م/ثانية

إذن فالطاقة المكافئة لوحدة الكتل الذرية = $١,٦٦ \times ١٠^{-٢٧} \times (٣ \times ١٠^{٨})^{٢}$

= $١٤,٩٤ \times ١٠^{-١١}$جول

= ٩٣١,٥مليون الكترون فولت

حيث أن المليون الكترون فولت = $١,٦٠٢ \times ١٠^{-١٣}$جول

أى أن الطاقة المكافئة لوحدة الكتلة الذرية = ٩٣١,٥ مليون الكترون فولت.

ذرة الهليوم للحصول على ٢ بروتون و ٢ نيوترون، ويطلق على كمية الطاقة المكافئة للنقص فى الكتلة بطاقة الترابط النووى (سنتحدث عنها بالتفصيل فيما بعد). أما بالنسبة لنواةذرة اليورانيوم فلقد تبين أيضاً أن كتلة نواتج الإنشطار النووى لنواة اليورانيوم أكبر من كتلة نواة اليورانيوم الأصلية كوحدة قبل الإنشطار، ولقد تبين ذلك من الأتى :

أنه نتيجة قذف نواة ذرة اليورانيوم ٢٣٥ بالنيوترون فإنها تنقسم في صور عديدة، ومن ثم فإن النويتان الناتجنات عن الإنشطار النووى بواسطة النيوترون البطىء وجد أن عدد كتلتاهما على الترتيب ٩٥، ١٣٩. ولقد تم تفسير ذلك بأن النواتج المبدئية للإنشطار النووى تكون مشعة ثم تمر بعدة مراحل تنحل منها دقائق بيتا السالبة والتى تقدر فى مجموعها بسبعة ٧ دقائق سالبة (الكترونات) عندئذ يكون قد تم تكوين النيوكليدات* الثابتة وهى عنصرى الموليبدينيوم ٩٥ واللانثانوم ١٣٩. ويمكن توضيح ذلك من خلال المعادلة التالية :

---

* **نيوكليدات :**

وهى تطلق على كل الصور الذرية للعناصر، وأحياناً مايستعمل على أنه مرادف لإصطلاح نظير – ونظراً لأن النظائر هى أشكال متنوعة من عنصر واحد فتكون بذلك عبارة عن عائلة من النيوكليدات وكلها ذات عدد ذرى واحد وبها نفس العدد من البروتونات. وتشمل النيوكيدات على صور النظائر لكل عنصر – كما أنها تتميز عن بعضها البعض من حيث العدد الذرى والعدد الوزنى وأيضاً حالة الطاقة.

$_{\text{٩٢}}$يورانيـــــوم$^{\text{٢٣٥}}$ + $_{\text{صفر}}$نيوتـــــرون$^{\text{١}}$ ⟵ $_{\text{٤٢}}$موليبدينيـــــوم$^{\text{٩٥}}$ +

$_{\text{٥٧}}$لانثانوم$^{\text{١٣٩}}$ + ٧ $_{\text{-١}}$بيتا$^{\text{صفر}}$ + ٢ $_{\text{صفر}}$نيوترون$^{\text{١}}$

وقد لوحظ من المعادلة السابقة أن بعض النيوترونات دائماً تتحـرر في مراحل الإنشطار، ومن ثم فيتطلب توازن النيوكلون أن يصبح إثنين مـن حيث العدد [أى ٢ نيوترون] وبالإضافة إلى ما تقدم نرى الأتى :

أن كتلة نواة اليورانيوم ٢٣٥ كوحدة هي ٢٣٥,٠٤٣٩ وحدة كتلة ذرية.

وكتلة النيوترون الذى إخترقها هـى ١,٠٠٨٧ وحـدة كتلـة ذريـة. إذن فـإن مجموع الكتلتين قبل الإنشطار

٢٣٥,٠٤٣٩+١,٠٠٨٧=٢٣٦,٠٥٢٦ وحدة كتلة ذرية.

وقد لوحظ من المعادلة السابقة أن بعض النيوترونات دائماً تتحـرر في مراحل الإنشطار، ومن ثم فيتطلب توازن النيوكلون أن يصبح اثنين مـن حيث العدد [أى ٢ نيوترون].

وبالإضافة إلى ما تقدم نرى الآتى :

إن كتلة نواة اليورانيوم ٢٣٥ كوحدة هى٢٣٥ ,٠٤٣٩ وحـدة كتلـة ذرية. وكتلة النيوترون التى اخترقها هى ١,٠٠٨٧ وحدة كتلة ذرية .

إذن فـإن مجمـــوع الكتلتيـــن قبـــل الإنشـــطار = ٢٣٥,٠٤٣٩+١,٠٠٨٧ =٢٣٦,٠٥٢٦ وحدة كتلة ذرية.

أما نواتج الأنشطار النووى وهى المولبيدنيوم ٩٥، التانتـالم ١٣٩، بيتا والنيوترون. فإن كتلهم على التوالى هى ٩٤,٩٠٥٨ وحـدة كتلـة ذريـة،

١٣٨,٩٠٦١ وحدة كتلة ذرية ثم بيتا السالبة (الالكترون) ٠,٠٠٠٥٥ وحدة كتلة ذرية و النيوترون ١,٠٠٨٧ إذن فالمجموع الكلى للكتل بعد التفاعل هى :

= ١,٠٠٨٧×٢+٠,٠٠٠٥٥×٧+١٣٨,٩٠٦١+٩٤,٩٠٥٨

=٢٣٥,٨٣٣١ وحدة كتلة ذرية

النقص فى الكتلة قبل و بعد التفاعل =

٢٣٦,٠٥٢٦ - ٢٣٥,٨٣٣٢ = ٠,٢١٩٤ وحدة كتلة ذرية

و عند الحصول على طاقة هذه الكتلة لابد من ضربها فى ٩٣١ كما اشرنا من قبل أى أن النقص فى الكتلة يكافىء كمية من الطاقة = ٢١٩٤, × ٩٣١ =٢٠٤ مليون فولت تقريبا وهى الطاقة التى خرجت نتيجة للتفاعل أو الأنشطار النووى. وتسمى هذه الطاقة بطاقة الترابط الناتجة عن الإنشطار النووى، وتعرف طاقة الترابط النووى بأنها تلك الطاقة التى تربط مكونات النواة ببعضها وهى أيضا الطاقة التى تنطلق عندما تتحطم النواة فى التفاعلات النووية ولكنها تختلف من حيث الكمية. ولقد لوحظ أيضا أن مجموع الكتل للجسيمات المكونة للنواة يكون أكبر من الكتلة الفعلية لنواة العنصر [ويلاحظ ذلك من خلال مثال نواة اليورانيوم حيث أن الكتلة الفعلية لنواة اليورانيوم كوحدة هى ٠٤٣٩, ٢٣٥ بينما كتل نواتجها بعد الأنشطار هى ٨٣٣٢, ٢٣٥ وحدة كتلة ذرية] حيث يتحول هذا النقص فى الكتلة إلى طاقة ترابط تعمل على ربط مكونات النواة، كما لوحظ أيضا أنه كلما كبت طاقةالترابط هذه كلما كانت درجة ثبات النواة كبيرة.

وببساطة شديدة يمكننا حساب طاقة الترابط النووى كالأتى :

حيث أننا نعرف أن مجموع كتل مكونات النواة تساوى عدد البروتونات مضروبا فى كتلة البروتون مضافاً إليها عدد النيوترونات مضروبا فى كتلة النيوترون مضافاً إليها عدد الالكترونات [بيتا السالبة] مضروبا فى كتلة الالكترون، وبما أن النقص فى الكتلة يساوى مجموع كتل المكونات السابقة مطروحا منها الكتلة الفعلية للذرة، ومن ثم فإن طاقة الترابط النووى تساوى النقص فى الكتلة [وحدة كتلة ذرية] مضروبا فى ٩٣١ "وهذه هى صورة مبسطة لمعرفة طاقة الترابط "، وتقدر طاقة الروابط للنيوكليون فى نواة اليورانيوم ٢٣٨ ونظيره ٢٣٥ بحوالى ٧,٦ مليون الكترون فولت. أما فى النوية العناصر الثابتة فإنها [أى طاقة الترابط] تصل إلى ٨,٥ مليون الكترون فولت للنيوكليون، ولكن بالنسبة لنوة اليورانيوم ٢٣٦ المركبة من جزيئات من النيوكليونات فقد وجد أن مجموع طاقة ترابطها تقدر بحوالى ٢٣٦ × ٧,٦ مليون الكترون فولت، بينما فى نواتج الأنشطار النووى تصل إلى ٢٣٦ × ٨,٥ مليون الكترون فولت.

ويتضح ذلك من خلال المعادلتين التاليتين :

(١) ٩٢ بروتون + ١٤٤ نيوترون ← يورانيوم ٢٣٦ [مركب النواة] + ٢٣٦ × ٧,٦ مليون الكترون فولت .

(٢) ٩٢ برتون + ١٤٤ نيوترون ← إنشطار الجسيم الناتج + ٢٣٦ × ٨,٥ مليون الكترون فولت. وعند طرح المعادلة الأولى من الثانية يتضح أن المنتجات المنشطرة من اليورانيوم يصاحبها طاقة تقدر بحوالى ٢٣٦ × (٨,٥ – ٧,٦) =٢٣٦ × .٩ = ٢١٢,٤ مليون الكترون فولت.

وهنا قد يتسائل البعض السؤال التالي :

ما هو السبب الرئيسي في أن تكوين نواة اليورانيوم من الجسيمات المنشطرة أو الناتجة منها تؤدي إلى تحرير طاقة [يلاحظ هنا أنه في حالة الأنشطار تكون طاقة ترابط النيوكليون أكبر منها في حالة تكوينها]. والأجابة على هذا التساؤل تظهر في تعليل أن طاقة الترابط ليست في الواقع طاقة تمتلكها النواة ولكنها طاقة تتحرر من مكونات النواة الخاصة بالنيوترونات والبروتونات ومن ثم فهي تتناسب مع الطاقة اللازمة لشطر النواة إلى جزئين من النيوكليونات* .

بالإضافة إلى ماسبق يبدو أن تحرير الطاقة الناتجة عن الأنشطار تتعلل بأن طاقة الترابط في النيكليون لعنصر اليورانيوم الثقيل تكون أقل من حيث الكمية عند مقارنتها في عنصر أخر أخف منها في الوزن - ويرجع

---

* ملحوظة : بالنسبة لنواة أية ذرة فإنه يوجد بداخلها نوعان من القوى تؤثر بين الدقائق المكونة لها وهي :

١- قوى التنافر بين البروتونات الموجبة الشحنة ٢- ثم قوى التجاذب بين مكونات الذرة وهي البروتون والنيوترون كما توجد أيضا بين النيوترون والنيوترون.ويمكن توضيح ذلك إذا أعتبرنا أن كلا من البروتونات والنيوترونات يقضي جزءاً من حياته على صورة برتون والجزء الأخر على صورة نيوترون وذلك نتيجة لتبادل الميزونات بينهما ويتضح ذلك من خلال المعادلتين:

بروتون ← نيوترون + ميزون موجب [بوزيترون]

نيوترون ← بروتون + ميزون سالب [الكترون]، [والميزون هو عبار عن جسيم خفيف إما أن يحمل شحنة سالبة أو موجبة، وهو يتحلل أذا كان موجبا إلى بوزيترون ونيترينو - إما إذا كان سالبا فيتحلل إلى الكترون ونيوترينو]. وترجع قوى التجاذب داخل النوة إلى تبادل الميزونات بين البروتونات والنيوترونات- ومن ثم تكون قوى التجاذب أكبر من قوى التنافر الراجعة إلى تشابه الشحنات وبذلك تصبح النواة متماسكة.

هذا الأنخفاض فى طاقة الترابط إلى النمو السريع فى طاقة التنافر الإستاتيكى الموجودة فى زيادة العدد الذرى. ويتضح من ذلك أنه كلما صغرت طاقة الترابط فى النيوكليون كلما صغر الخلل فى كتلة النواة والعكس الصحيح، ولكن نود أن نوضح هنا أن ضخامة كتلة نواة اليورانيوم (وذلك عند مقارنتها بالجسيم النووى بعد الأنشطار) يرجع إلى تأثير النفور الأستاتيكى للبروتونات.

فى النهاية : إن المعالجة الفعلية للإنشطار النووى يمكن أن تعلل عن طريق القيمة العالية للقوى النافرة فى الجسيم النووى الثقيل هذا بالإضافة إلى أنها مسئولة أيضا عن الأنشطار وخروج الطاقة المصاحبة للتفاعلات النووية. فى الحقيقة أن تقديرات طاقة الترابط النووى ليست على درجة عالية من الدقة وذلك لأنها ليست ثابتة فى جميع الحالات، ومن ثم فهى تؤخذ بالتقريب وهذا راجع إلى عدم التأكد الكامل من النويات المتكونة بعد عملية الإنشطار النووى. بالإضافة إلى ماسبق فإنه يوجد بالفعل أكثر من ٤٠ نوعاً مختلفة فى طرق الإنشطار النووى ووزن الكتلة وأيضاً الطاقة المتحررة ومن ثم فهى ليست بالطبع متشابهة فى كل الحالات، ولكن فى الحقيقة هذه الإختلافات ليست كبيرة ولهذا فقد تم التوصل إلى إتفاق وسط والذى يتمثل فى أن طاقة الإنشطار النووى لليورانيوم ٢٣٥ هى أقرب ما يكون إلى ٢٠٠ مليون الكترون فولت. وهنا نود أن نشير إلى أن أول محاولة لقياس الطاقة الناتجة عن الإنشطار بطريقة مباشرة تمت فى عام ١٩٣٩م على يد جينتشك وبرانكل من ألمانيا وأيضاً بوث ودايننتج وسلاك من الولايات المتحدة الأمريكية – ولقد قدرت طاقة الكينتيك للجزيئات المنشطرة على أساس مدى التأين الناتج. ولقد تبين أن الطاقة الناتجة ليست

موحدة بل تتكون من مجموعتين متباينتين شبه متساويتين وتحتوى كل مجموعة على عدد من الجسيمات – وعليه تم التوصل إلى مقادير الطاقة المتوسطة فى كل مجموعة فبلغت فى الأولى ٧٠ مليون الكترون فولت وبلغت فى المجموعة الثانية حوالى ١٠٠ مليون الكترون فولت – أى بإجمالى ١٧٠ مليون الكترون فولت. إلا أن الدراسات التى قامت بعد ذلك والتى أقيمت على أساس مقاييس التأين ومعدل سرعة الجسيم المكون من الانشطار النووى أثبتت أن طاقة الكينتيك فى الجسيمات المنشطرة من ذرة اليورانيوم ٢٣٥ عن طريق قذفها بالنيوترون البطىء هى ١٦٧ مليون الكترون فولت أى أنها فى المجموعة الأولى ٦٨ والثانية ٩٩ مليون الكترون فولت . وعلاوة على ما تقدم فقد وجد أن المقاييس الكالورمترية لتحرير الطاقة فى صورة حرارية عند قذف نواة اليورانيوم بالنيوترون والتى تمت فى عام ١٩٣٩ على يد هندرسن من الولايات المتحدة الأمريكية تعطى طاقة تعادل ١٧٥ مليون الكترون فولت. إلا أن هناك تجارب قد تمت بعد ذلك وأحدث من سابقتها استخدمت فيها طاقة الكينتيك للشظايا المنشطرة أثبتت أن الطاقة الناتجة تعادل ١٦٧مليون الكترون فولت – أى بفارق ٣٣ مليون الكترون فولت بينها وبين الطاقة التى قدرت قبلا بحوالى ٢٠٠ مليون الكترون فولت نتيجة إنشطار نواة اليورانيوم ٢٣٥ والتى اتفق عليها العلماء. ويعلل ذلك بأن الـــ٣٣ مليون الكترون فولت ما هى إلا مجموع حاصل الطاقة الناتجة عن اشعاعات جاما والنيوترون المصاحب لعملية الانشطار بالإضافة إلى دقائق بيتا وأيضاً فوتونات* أشعة جاما والنيوترينو

---

* الفوتون : هو عبارة عن حامل لوحدة الكم من الطاقة الكهرومغناطيسية – وللفوتونات عزم قصور فعال ولكنها عديمة الوزن أو الشحنة الكهربية.

المتحرر نتيجة الإنحلال الإشعاعى لانشطار الجسيمات الناتجة من النشطار النووى. نخرج من هذا بالآتى :

أن الطاقة الناتجة من عملية الانشطار تظهر فى أشكال عديدة مختلفة وأهم هذه الأشكال هى طاقة الكينتيك للشظايا المنشطرة والطاقة الإشعاعية المنحلة لنواتج الانشطار النووى بالإضافة إلى النيوترونات وإشعاعات جاما التى تتحرر فور الانشطار النووى حاملة كميات محسوسة من الطاقة . ويمكن توضيح توزيع هذه الطاقة كالآتى وذلك عند قذف نواة اليورانيوم ٢٣٥ بالنيوترون البطىء :

١-	طاقة الكينتيك للشظايا المنشطرة	١٦٧	مليون الكترون فولت
٢-	طاقة النيوترونات الناتجة عن الإنشطار	٥	مليون الكترون فولت
٣-	إشعاعات جاما الفورية	٧	مليون الكترون فولت
٤-	دقائق بيتا الناتجة من الانشطار النووى	٧	مليون الكترون فولت
٥-	إشعاعات جاما الناتجة من الانشطار النووى	٦	مليون الكترون فولت
٦-	النيوترينو الناتج عن الانشطار النووى	١١	مليون الكترون فولت
	المجموع الكلى	٢٠٣	مليون الكترون فولت

مما سبق يتضح لنا أن مجموع الطاقة الكلية الناتجة عن الانشطار النووى لذرة اليورانيوم ٢٣٥ تعادل ٢٠٣ مليون الكترون فولت – إلا أنه يجب ملاحظة أن عدد النيوترينو ودقائق بيتا وإشعاعات جاما يتم امتصاصها بعد فترة من الوقت ومن ثم فإن الطاقة التى يحملونها تظهر فى صورة حرارة .

نوعية الكتل الناتجة عن الانشطار النووى :

يتبين لنا مما سبق أن طاقات الكينتيك للدقائق المنشطرة تتركز فى مجموعتين غير متساويتين فى الكتلة والخصائص الكيميائية، ويرجع السبب فى ذلك إلى أن معدل الطاقة بين المجموعة الأولى والثانية يقدر بنسبة ١:٥ [حسب نتائج عام ١٩٣٩]، ولقد عرفت المجموعة الأولى بعنصر الكريبتون ذو العدد ٩٠ للكتلة، والمجموعة الثانية وهى عنصر الإكسينون وعدد كتلته ١٤٠، وبالعودة لعام ١٩٣٩م فقد وجد أنه من الضرورى الحصول على المعلومات الدقيقة الخاصة بنواتج الانشطار وما يصاحبها من طاقة ، وعليه فقد تمت دراسات وأبحاث مكثفة بغرض المعرفة الحقيقية لهذه النتائج ولكننا هنا سنكتفى بإلقاء بعض الضوء حول بعض النتائج . فإذا أخذنا فى الاعتبار المعلومات المتعلقة بانشطار نواة اليورانيوم ٢٣٥ نتيجة قذفها بنيوترون حرارى (بطىء) وأيضاً نيوترون سريع بطاقة تقدر بحوالى ١٤ مليون الكترون فولت فإننا نجد أن عدد الكتلة الناتج قد تم تحديده على أساس نواتج الانشطار وما صاحبها من طاقة [أى على أساس غلة الانشطار].

[ملحوظة: حيث أننا نعرف أن كل انشطار نووى ينتج عنه نويتان أو كتلتين من ثم فإن الغلة الناتجة عن الانشطار يصبح مجموعها حوالى ٢٠٠٪، ففى كل نيوترون حرارى فى كل ٤٠٠ حالة إنشطار نووى يوجد ٣ نويات أو كتل فى نواتج الانشطار النهائى وهى ما يطلق عليه لفظ الانشطار الثلاثى، وفى الغالبية العظمى لهذه الانشطارات وجد أن النواة أو الكتلة الثالثة عبارة عن دقيقة ألفا أو ذرة هليوم ، ولكن فى بعض حالات الانشطار الثلاثى يلاحظ انبعاث التريتون. هذا وتوجد حالة واحدة فى كل ١٠٠ ألف حالة انشطار نواة اليورانيوم ٢٣٥ تحتوى على ٤ نويات أو جسيمات متساوية

تقريباً فى الكتلة]. وبمتابعة ما تقدم فقد لوحظ أن نواتج الانشطار تغطى سلسلة كبيرة تتراوح ما بين ١٠$^{-٤}$ إلى ٨٪ ومن ثم فقد روعى أن تحدد على أساس النظام اللوغاريتمى لسهولة دراستها . ويجب أن نضع فى الاعتبار أن أعداد الكتلة [وليس العدد الذرى] تكون محددة وذلك بسبب أن الشظايا المنشطرة مشعة حيث أنها تتحل بفقد دقيقة بيتا - بالإضافة إلى ذلك تجد أن الأعداد الذرية تتغير مع الوقت ولكن أعداد الكتلة لم تتأثر على الإطلاق بانحلال دقيقة بيتا . وبدراسة حالة أخرى من حالات انشطار نواة اليورانيوم بنيوترون حرارى (بطىء) وجد أن نواتج الانشطار تنقسم إلى كتلتين ذريتين كما لوحظ أيضاً أن أعداد الكتلة تبدأ من ٧٢ وهو نظير الزنك ذو العدد الذرى ٣٠ والكتلة الأخرى هى نظير عنصر التريبيوم الذى عدد كتلته ١٦١ وعدده الذرى ٦٥، ولقد تبين بعد ذلك أن العناصر الموجودة بين هذين النظيرين والتى تقدر بـ٣٦ عنصر أو نظير يتم إنتاجها جميعاً ومباشرةً عن طريق الانشطار النووى. وعلى الرغم من ذلك فإن دراسة وملاحظة انشطار نواة اليورانيوم ٢٣٥ يصاحبها بعض الصعوبات وذلك لأنه يوجد بها ما يقرب من ٢١٠ نيوكليدات مختلفة متضمنة أيضاً الشظايا المنشطرة ونواتجها من الانحلال الإشعاعى. فى الواقع أن هناك حوالى ٩٧٪ من اليورانيوم ٢٣٥ تعانى انشطار حرارى من أجل الحصول على النواتج المنشطرة والتى تقسم إلى مجموعتين هما :

المجموعة الحقيقية والتى عدد كتلتها يبدأ من ٨٥ وينتهى بـ١٠٤، والمجموعة الثقيلة التى يبدأ عدد كتلتها من ١٣٠ وينتهى بـ١٤٩. ولكن نود أن نشير هنا إلى أن أهم الأنواع المرجحة فى الانشطار النووى والتى تمثل حوالى ٦,٥٪ من المجموع الكلى فى العمليات الانشطارية هى التى تعطى

نواتج بأعداد كتل تقدر فى المجموعة الأولى بـ٩٥ وفى الثانية بـ١٣٩ [ملحوظة: هناك حالة أخرى يصل فيها عدد الكتلة الثقيلة إلى ١٣٤ وهى تعتبر حالة خاصة وذلك من حيث ارتفاع نسبة وجودها فى حالات الانشطار التى تصل إلى ٨٪ ويتم ذلك عند قذف نواة اليورانيوم بالنيوترون البطىء].

مما سبق يتبين لنا أن النتائج الكلية للانشطار النووى المتسببة عن قذف نواة اليورانيوم ٢٣٥ بالنيوترون الحرارى تؤدى إلى الحصول على كتلتين غير متماثلتين فى العدد الذرى وأيضاً عدد الكتلة . ولكن هنا إذا افترضنا أن نواة اليورانيوم انشطرت إلى قسمين متساويتين فإن الكتلة كل منهما ستكون إما ١١٧ أو ١١٨ وبالتالى فإن فرصة انشطار النواة بالنيوترونات الحرارية لن تزيد عن ٠,٠١٪ . أما بالنسبة لنواة اليورانيوم التى انشطرت إلى كتلتين هما ٧٢ ، ١٦١ فإننا نجد هنا وجود حوالى ٩٠ عدد كتلة أو نظير تبدأ من النظير ٧٢ حتى تصل إلى النظير ١٦١ ومن ثم فإن هذه الأعداد المختلفة من الكتل أو النظائر عبارة عن الأعداد المختلفة للنيوكليدات المتكونة كجسيمات منشطرة، وفى هذه الحالة نجد أن نواة اليورانيوم تكون قادرة على الانشطار فى ٤٥ طريقة مختلفة.

النيوترونات الناتجة عن الانشطار النووى

لقد ذكرنا فيما سبق أن أهم سمات الانشطار النووى هو تحرير النيوترونات المصاحبة لعملية الانشطار ، وعلناً نذكر أنه قد تم التحقيق والتأكد من ذلك على يد جوليوت وفون هالبان وكوارسكى من فرنسا وذلك بعد الإعلان عن نظرية الانشطار النووى بقليل. هذا بالإضافة إلى ما ذكره سميث فى تقريره عن " الطاقة النووية للأغراض العسكرية " والذى قال فيه: أنه فى الاجتماع الذى عقد فى واشنطن د.س. فى الفترة من ٢٦ إلى ٢٨ يناير عام ١٩٣٩م قام بوهر وفيرمى بمناقشة قضية الانشطار النووى والتى علق فيها فيرمى حول احتمال خروج النيوترونات أثناء عملية الانشطار، ولكن فى الواقع أن أول من ناقش موضوع خروج النيوترونات أثناء عملية الانشطار هو فريش الذى بحث ذلك بدقة مع مدام ميتنير ومولير فى كوبنهاجن بالدانمارك. وترجع فكرة خروج النيوترونات عن الانشطار وإحصاء عددها الآتى :

نفرض أن نواة اليورانيوم ٢٣٥ انشطرت إلى كتلتين تمثل الأولى عنصر الاسترونتيوم ذو العدد الذرى ٣٨ وعدد الكتلة ٩٥ ، وعنصر الاكسينون ذو العدد الذرى ٥٤ وعدد الكتلة ١٣٩، وبملاحظة العناصر أو الكتل المنشطرة وجد أن أكبرها ثباتاً يصل عدد كتلته إلى ٨٨ فى الكتلة الأولى و١٣٦ فى الثانية، كما لوحظ أيضاً أن أنوية الكتل الناتجة عن الانشطار تحتوى على عدد من النيوترونات بعد أكثر من المسموح به فى عملية استقرار النواة ومن ثم فإن طرد وخروج النيوترونات من النواة يعتبر أمر طبيعى. وللحصول على المعرفة الدقيقة لخروج النيوترونات

أثناء الانشطار النووى قام فون هالبان الفرنسى مع زملائه بإجراء تجربته الشهيرة التى تمثلت فى وضع مصدر للنيوترونات فى منتصف وعاء كبير مع وضع أجهزة كشفية على مسافات مختلفة من المصدر لكى تحدد كثافة أو كمية النيوترونات أثناء وبعد التجربة الموجودة فى الوعاء، أما بالنسبة للوعاء فقد وضع داخله أولاً محلول نيترات اليورانيل ثم بعد ذلك محلول نيترات الأمونيوم وذلك بغرض المقارنة بين المحلولين.

ولقد كانت النتيجة هى امتصاص النيوترونات بواسطة اليورانيوم ولكنها (أى نسبة امتصاص النيوترونات) كانت أكثر فى الحالة الثانية عن الأولى. وعلى الرغم من ذلك فقد تبين أن النيوترونات التى نتجت عن الانشطار كانت أكثر من التى تم امتصاصها بالمحاليل. ولقد تبين فى النهاية أن لكل ذرة يورانيوم تمر بعملية الانشطار النووى تخرج من ٣ إلى ٤ نيوترونات فى المتوسط، ولقد أكد ذلك العلماء الأمريكيين والفرنسيين والألمان . وبالإضافة إلى ما سبق فقد لوحظ أيضاً أن أعداد النيوترونات الخارجة تعتمد فى الدرجة الأولى على طريقة وأسلوب الانشطار النووى حيث أن أعدادها يتراوح من لاشىء حتى ٤ أربعة نيوترونات أو أكثر – كما قد تبين أيضاً أن متوسط عدد النيوترونات الخارج ليس بالعدد الصحيح إطلاقاً ويرجع ذلك إلى النتائج التى تمت على انشطار أنوية كل من اليورانيوم ٢٣٥ والبلوتونيوم ٢٣٩ واليورانيوم ٢٣٣ وذلك عند قذفهم بنيوترون حرارى (بطىء) حيث أتضح الأتى :

١-	يورانيوم ٢٣٥ عدد النيوترونات فى المتوسط	٢,٤٣ نيوترون
٢-	بلوتونيوم ٢٣٩ عدد النيوترونات فى المتوسط	٢,٨٩ نيوترون
٣-	يورانيوم ٢,٣٣ عدد النيوترونات فى المتوسط	٢,٥٠ نيوترون

مما سبق يتضح أن أكبر عدد من النيوترونات ظهر فى إنشطار نواة البلوتونيوم ٢٣٩ عن بقية الأنشطارت الأخرى الخاصة باليورانيوم ٢٣٥، ٢٣٣. ويعلل خروج النيوترونات بالأتى :

أن التوزيع المكانى أو الحيزى للنيوترونات المصاحبة للإنشطار النووى تشير إلى أن النيوترونات يتم طردها من الدقائق فور عملية الإنشطار وليس من النواة – وبعبارة أخرى عند إنشطار النواة إلى جزئين يعتقد أن كل جزء يحتوى على عدد من النيوترونات أكثر من اللازم أى أكثر من معدل ثباتها، هذا بالإضافة إلى أن نفس الجزء يحتوى على طاقة كافية تعمل على سهولة خروج هذه النيوترونات الزائدة حتى تصبح كتلة هذا الجزء مستقرة ويتم ذلك بطرد نيوترون أو أكثر وذلك فى خلال ١٠$^{-١٤}$ من الثانية. أما بخصوص طاقات النيوترونات المنشترة فإنها تتراوح ما بين جزء من المليون فولت إلى ٨ مليون الكترون فولت، أما طاقة الغالبية العظمى من النيوترونات فإنها تتراتوح ما بين ١ إلى ٢ مليون الكترون فولت فقط. هذا وفى نفس الوقت وجد أن عدد النيوترونات الخارجة عن الانشطار يتزايد بتزايد طاقة النيوترونات التى تحث على الأنشطار ويتضح ذلك من الأتى :

١– فى حالة إستخدام نيوترون ذو طاقة حرارية تقدر بمليون إلكترون فولت لشطر نواة اليورانيوم ٢٣٥ فإن متوسط عدد النيوترونات الناتجة عن الأنشطار تقدر ما بين ٢,٤٣ إلى ٢,٥ نيوترون.

٢– أما إذا زادت طاقة النيوترون المقذوف إلى ٧ مليون إلكترون فولت فإن متوسط عدد النيوترونات الناتجة تتراوح ما بين ٣,٤٣ إلى ٢,٥٠.

٣- فى حالة زيادة طاقة النيوترون إلى ١٤ مليون الكترون فولت فإن متوسط عداد النيوترونات الخارجة هى ٤,٥ عن كل أنشطار.

من هذا يتضح أن متوسط عدد النيوترونات يزداد بصفة عامة مع زيادة الكتلة والعدد الذرى للنواة المنشطرة. ولكن الأمر لم يتوقف عند هذا الحد، ففى عام ١٩٥٤م لاحظ فراسير من الولايات المتحدة الأمريكية أن هناك ثمة إختلاف فى عدد النيوترونات الناتج عن الأنشطار وذلك مع عدد الكتلة والذرة للشظية المنشطرة. ففى التجربة التى أجراها فراسير والتى كان الهدف منها هو تحديد متوسط عدد النيوترونات الخارجة عن الأنشطار لاحظ أن هذه النيوترونات تخرج من الشظيتين المنشطرتين فى إتجاهين مختلفين وعليه فقد أقيمت بعد ذلك نفس التجربة وبنفس التكنيك ولكن هذه المرة روعى فيها عمل مقارنة لتوزيع كتلة الدقائق المنشطرة فوريا وذلك قبل خروج النيوترون المقذوف بعد عملية الأنشطار ولقد تبين من هذه التجربة الأتى :

أن عدد النيوترونات الخارجة من الشظايا أو الكتل الخفيفة فى كل مجموعة منشطرة صغير جداً وربما أحيانا لاشىء، إلا أن عدد هذه النيوترونات يزداد مع زيادة عدد الكتلة ويصل إلى أقصاها فى النوية الثقيلة أو الكتلة الثقيلة المنشطرة. كما قد لوحظ شىء هام وهو أن طريقة أو أسلوب الأنشطار لا تلعب دوراً هاما فى زيادة أعداد النيوترونات الخارجة [ملحوظة : لقد ذكرنا فيما سبق أن طريقة الأنشطار تلعب دوراً هاما فى زيادة أعداد النيوترونات الخارجة، ولكن تجربة فراسير أثبتت أن هذا ليس شرطا أساسياً بل مساعداً فقط]. كما شوهد أيضاً فى نفس التجربة أن الشظايا المنشطرة التى لم يخرج منها أية نيوترونات تحتوى المجموعة

الحقيقية منها على ٥٠ نيوترون، وبالنسبة للمجموعة الثقيلة تحتوى على ٥٠ بروتون، وهذه الأعداد تمثل على الترتيب الأغلفة المغلقة للنيوترونات والبروتونات. أما بخصوص عدد النيوترونات المطرودة عن طريق الانشطار والتى تخرج بصورة فورية من الشظية أو الكتلة المنشطرة فهى تعبر مقياساً للطاقة التى تعمل على استثارة أو اثارة هذه النيوترونات المطرودة . من هذا نخرج بأن هناك اختلاف كبير فى الطاقة المثارة من الجزئين المنشطرين من النواة وذلك فى جميع طرق الانشطار النووى .

ولكن علينا أن نلاحظ شيئاً هاماً وذلك فى الانشطارات الأكثر احتمالاً والتى تتراوح فيها الكتل الخفيفة ما بين ٩٠ إلى ١٠٠ وأيضاً الكتل الثقيلة ما بين ١٣٥، ١٤٥ فإننا نجد هنا أن الطاقة المثارة غالباً ما تنقسم إلى قسمين متساويين بين هاتين الكتلتين. فى النهاية نستطيع أن نقول الآتى:

إن جميع النيوترونات الخارجة أو المطرودة لاتعتمد فى خروجها بدرجة كبيرة على طريقة الانشطار النووى نفسه بل تعتمد أكثر على مجموع الطاقة المستثارة أو المثارة فى جميع الحالات

النيوترونات المتأخرة أو البطيئة الناتجة عن الانشطار :

كما أشرنا من قبل أن الغالبية العظمى من النيوترونات [حوالى ٩٩٪] الناتجة عن الانشطار تخرج فى حوالى $١٠^{-١٤}$ من الثانية وهذه النوعية من النيوترونات يطلق عليها بالنيوترونات الفورية – إلا أنه فى الوقت نفسه يوجد هناك نسبة صغيرة من النيوترونات تخرج بعد فترة من عملية الانشطار النووى وهى ما يطلق عليها بالنيوترونات البطيئة. وعليه ففى حالة انشطار نواة اليورانيوم ٢٣٥ بنيوترون ذو طاقة لاتقل عن ١مليون الكترون فولت فإنه يوجد حوالى ٠,٦٥٪ أو واحد نيوترون من كل

١٦٠ من النيوترونات الخارجة يكون بطيء الحركة ومتأخر ، ويمكن ملاحظة النيوترون المتأخر لبضع دقائق الذى يفقد قوته بعد فترة من الوقت. فى الواقع أن عملية خروج النيوترونات البطيئة تعتبر عامل هام للغاية وخاصة فى عمليات التحكم الخاصة بمفاعلات الانشطار النووى. ولمعرفة المزيد عن النيوترونات البطيئة فإنه لابد من الرجوع إلى أوائل عام ١٩٣٩ وذلك قبل الإعلان عن اكتشاف النيوترونات الفورية أو السريعة الناتجة عن الانشطار النووى وذلك عندما لاحظ روبرتس ، هافستاد ، مير ووانج من الولايات المتحدة الأمريكية أنه بعد انشطار اليورانيوم والثوريوم بفترة لازالت توجد هناك بعض النيوترونات تخرج من الشظايا المنشطرة وبالطبع كانت هذه هى النيوترونات البطيئة الخارجة بمصاحبة الانشطار النووى. وبإجراء بعض التحليلات والدراسات على معدل الإنخفاض فى كثافة هذه النيوترونات بواسطة علماء الفيزياء مثل : بوث ، داينتج وسلاك فى عام ١٩٣٩م وأيضاً كوك ولوريتسين من الدانمارك تم التوصل إلى وجود ٤ فترات للإنحلال – ولكن الدراسات التى أجريت بعد ذلك أثبتت أن هناك ٦ فترات أو مجموعات (كما يقال) نتجت عن انشطار اليورانيوم ٢٣٥ بنيوترون حرارى. والجدول التالى يوضح خصائص هذه النيوترونات وذلك من حيث فترة نصف الحياة ونسبة النيوترون البطيء للمجموع الكلى للنيوترونات الخارجة وأيضاً طاقة كل نيوترون :

المجموع	فترة نصف الحياة بالثانية	النسبة المئوية للنيوترون من المجموع الكلى الخارج	طاقة النيوترون بالمليون الكترون فولت
المجموعة الأولى	٥٥,٧٠ ثانية	٠٢١٥,٪	,٢٥
المجموعة الثانية	٢٢,٧٠ ثانية	١٤٢٤,٪	,٤٦
المجموعة الثالثة	٦,٢٢ ثانية	١٢٧٤,٪	,٤١
المجموعة الرابعة	٢,٣٠ ثانية	٢٥٦٨,٪	,٤٥
المجموعة الخامسة	٠,٦١ ثانية	٠٧٤٨,٪	,٤١
المجموعة السادسة	٠,٢٣ ثانية	٠٢٧٣,٪	—
الإجمالى	**الإجمالى**	٦٥٠,٪	

وتنطبق حالة اليورانيوم ٢٣٥ على كل من البلوتونيوم ٢٣٩ واليورانيوم ٢٣٣ إلا أن الفارق هنا يتمثل فى النسبة المئوية للنيوترونات البطيئة إلى المجموع الكلى للنيوترونات الخارجة - حيث تبدو فى البلوتونيوم بـ٠,٢١٪ وفى اليورانيوم ٢٣٣ بحوالى ٠,٢٦٪ أى أن نسبة خروج النيوترونات البطيئة أقل من كل من اليورانيوم ٢٣٥ واليورانيوم ٢٣٣.

النيوكليدات القابلة للانشطار بدون طاقة محددة وبطاقة لاتقل عن ١مليون الكترون فولت :

لقد أشرنا فيما سبق عن أن اليورانيوم ٢٣٥ ينشطر بأى كمية طاقة مصاحبة للنيوترونات المقذوفة والتى تبدأ من الصفر فما فوق - ولكن اليورانيوم ٢٣٨ الموجود فى الطبيعة يتطلب انشطاره نيوترونات ذات طاقة لاتقل عن ١مليون الكترون فولت وهذا ماتوقعه وناقشه بوهر فى فبراير

عام ١٩٣٩م كما ذكرنا من قبل والـذى كـان مـن نتيجتـه القيـام بـالعديد مـن التجارب فى أوائل عام ١٩٤٠م بواسطة بوث، داينـنج وجروس مـن جامعـة كولومبيا من الولايات المتحدة الأمريكية .

ومن هذه التجارب تم الحصول غلى بعض العينـات المنفصلـة مـن نظائر اليورانيوم ٢٣٥ واليورانيوم ٢٣٨ بواسطة "تـير" أولاً ثـم بعـد ذلـك بواسطة كينجدون وبولوك اللذان استخدما طريقة الكهربيـة المغنطيسـية فـى تجاربهما. وعليه فقد تم تعريض هذه العينات للقذف بنيوترون بطـيء والـذى كان من نتيجته انشطار نواة اليورانيوم ٢٣٥ بينما النظير الثقيـل لليورانيـوم ٢٣٨ فإنه لم يعـانى أى انشـطار علـى الإطـلاق ولكن لوحـظ بعـد ذلـك أن اليورانيوم ٢٣٨ يمكن أن ينشطر إذا قذف بنيوترون سريع ذو طاقـة لاتقـل عن "١" واحد مليون الكترون فولت . إلا أن أهم حدث هو اكتشـاف التشـابه الكبير بين اليورانيوم ٢٣٥ و كل مـن اليورانيـوم ٢٣٣ و البلوتونيـوم ٢٣٩ من حيث سرعة الانشطار و الذى يتم بنيوترون يحمل أية كمية مـن الطاقـة إبتـداء مـن الصفـر فمـا فـوق و لهـذا فقد إطلـق علـى هـذه النوعيـة اسـم النيوكليدات السريعة الانشطار. إلا انه فى نفس الوقـت تـم التوصـل إلـى أن اليورانيـوم ٢٣٨ و الثوريـوم ٢٣٢ وبعـض الفصـائل الأخـرى مـن الممكـن إنشطارهم بطاقة تبدأ بواحد مليون الكترون فولت ومـن ثـم فقـد أطلـق علـى هذه النوعية أسم النيوكليدات المنشطرة بطاقة معينة.

ولقد تم تعليل ذلك بأن النيوكليدات السريعة الأنشطار تحتوى علـى عدد متساوٍ من البروتونات وعدد شارد أو غير منتظـم مـن النيوترونـات أو عدد شارد من كل من البروتونات والنيوترونات – وفـى جميـع الأحتمـالات وجد أن اليورانيوم ٢٣٣ واليورانيـوم ٢٣٥ والبلوتونيـوم ٢٣٩ هـم النظـائر

الوحيدة التى تملك أطول فترة نصف حياة وهى التى تىعتبر هامة جداً فى عملية تحرير الطاقة فى المفاعلات الخاصة بالأنشطار النووى. أما النيوكليدات المنشطرة بأستخدام طاقة محددة مثل اليورانيوم ٢٣٨ والثوريوم ٢٣٢ فهى إما تملك أعداد متساوية من البروتونات والنيوترونات أو أعداد متساوية من النيوترونات وشاردة منن البروتونات، ولكن إن ما يهمنا هنا هو النظائر التى تتساوى فيها النيوترونات والبروتونات وذلك لإمكان تحويلهم إلى أنواع منشطرة وذلك بتفاعلهم مع النيوترونات.

ومن خلال التجارب النهائية لوحظ أيضا أن النيوكليدات الملشطرة بطاقة معينة تسلك نفس سلوك النيوكليدات السريعة الأنشطار، ولقد كان أهم الدلائل على ذلك هو خروج، أو ٣ نيوترون فى المتوسط من نويات النيوكليدات المنشطرة بطاقة لا تقل عن ١ مليون الكترون فولت هذا بالأضافة إلى خروج نسبة صغيرة من النيوترونات البطيئة الحركة من نفس المجموعات الستة السابق الأشارة إليها فى اليورانيوم ٢٣٥.

الأنشطار التلقائى

أن الأنشطار التلقائى الذى ظهر فى العديد من النيوكليدات التى تزيد عدد كتلتها عن ٢٣٠ يمكن أعتبارها نوع من الأنحلال الأشعاعى وذلك لأنه يضارع خروج دقائق ألفا التى سبق الأشارة إليها فى النشاط الأشعاعى - إلا أنه يجب ملاحظة أنيه بأستثناء بعض النيوكليدات الثقيلة جدا والتى عدد كتلتها يزيد عن ٢٥٠ فقد وجد أن فترة نصف حياة دقيقة ألفا أقل من الأنشطار التلقائى المشار إليه سابقا.

وعند مقارنة النظائر المختلفة للعناصر المتوازنة فى أعداد البروتونات والنيوترونات والتى يتم إنشطارها بنيوترونات مستحثة بالنظائر الأخرى الغير متوازنة والتى فيها عدد البروتونات متوازن ولكن النيوترونات غير متوازنة وشاردة وجد أن عملية الأنشطار التلقائى فى الأولى أعلى من الثانية من حيث المعدل - ويتضح ذلك من الأمثلة التالية :

١-أن فترة نصف حياة الأنشطار التلقائى لليورانيوم ٢٣٨ هى $١٠^{١٦}$ سنة

٢-فترة نصف حياة الأنشطار التلقائى لليورانيوم ٢٣٥ السريع الأنشطار هى ١,٨ × $١٠^{١٧}$ عاماً.

إلا أن أهم ماثيير الأنتباه هنا هو الاختلاف بين فترة نصف حياة الانشطار التلقائى للبلوتونيوم ٢٤٠ والتى تقدر بحوالى $١٠^{١٤}$ سنة، والبلوتونيوم ٢٣٩ التى تقدر بـ ٥ × $١٠^{١٥}$ عاماً.

أما النيوكليدات الغير متوازنة فى أعداد البروتونات والنيوترونات فهى تتميز بقصر فترة حياتها الزمنية نتيجة لإنحلال دقائق بيتا، ومن ثم فإن

المعرفة الكاملة حول سلوك الانشطار التلقائى لهذه النيوكليدات غير واضحة تماماً. وبالإضافة لما سبق فقد وجد من خلال التجارب التى تمت فى هذا القطاع أن فترة نصف حياة الانشطار التلقائى تقل كلما زاد العدد الذرى ونقص عدد الكتلة، ومن ثم فإن النظائر المتوازنة ذات العدد الذرى العالى تتميز بقصر فترة نصف الحياة الانشطار التلقائى، ويتضح ذلك من الأمثلة التالية :

١-تقدر فترة نصف حياة الانشطار التلقائى لعنصر كاليفورنيوم ذو العدد الذرى ٩٨ وعدد الكتلة ٢٥٤ بحوالى ٦٠ يوم.

٢-اما بالنسبة لعنصر الفيرميوم ذو العدد الذرى ١٠٠ وعدد الكتلة ٢٥٦ فهى تقدر بحوالى ٣,١ساعة.

من ناحية أخرى فقد أكتشف أن العلاقة بين فترة نصف حياة الانشطار التلقائى وعدد كتلة النظير ليست بالسهلة أو المفهومة تماما ومن ثم فيحتمل أن هناك تأثير على معدل الانشطار التلقائى وذلك نتيجة حدوث تقارب شديد للنيوترونات تحت أغلفة النواة وذلك فى المنطقة التى يحدث فيها عادة الانشطار التلقائى وهذا بالنسبة للعناصر ذات العدد الذرى العالى. ولكن بالرجوع مدة أخرى إلى العناصر الثقيلة فإننا نجد أن عنصر كاليفورنيوم ٢٥٢ هو أحد النيوكليدات التى تقدر فترة نصف حياة الانشطار التلقائى به قصيرة نسبيا وهى ٨٥ عاماً ومن ثم فهو موجودة فى الطبيعة بكميات معقولة نسبيا – لهذا فقد تم دراسة إنشطاره التلقائى والذى تمثل فى الأتى :

أن نواتج إنشطار العنصر تمثلت فى مجموعتين كل منهما ذو كتلة مختلفة عن الأخرى هذا بالإضافة إلى أنهما ليسا متماثلين – علاوة على ما

تقدم فقد وجد أن المجموعة الخفيفة يبلغ الحد الأقصى لعدد كتلتها ١٠٧، أما كتلة المجموعة الثقيلة فهى أقرب إلى ١٤٠ [فى الواقع إن هذا الانشطار يشبه إلى حد بعيد أنواع الانشطار اللاتماثلى فى النيوكليدات ذات عدد الكتلة الصغير جداً مثل اليورانيوم ٢٣٣]. فى الحقيقة أن هذه النوعية من النيوكليدات تتشابه إلى حد كبير مع النيوكليدات السريعة الانشطار وقد يتضح ذلك من خلال مجموعة النيوترونات المتحررة في الانشطار التلقائى وذلك لانها تميل إلى الزيادة مع زيادة العدد الذرى وعدد الكتلة – ومن ثم فإن متوسط عدد النيوترونات يصل إلى ٢,١ فى اليورانيوم ٢٣٨، وحولى ٢,٨ فى عنصر كيوريم ٢٤٤ والذى عدده الذرى ٩٦، بالإضافة إلى ذلك يصل عدد النيوترونات المتحررة لعنصر كلبفورنيوم ٢٥٢ حوالى ٣,٨ نيوترون.

نخرج من هذا بالأتى : أن ميكانيكية الأنشطار التلقائى تتساوى فى الأهمية مع الانشطار المستحث بالنيوترونات.

الفصل الرابع

نظرية الانشطار النووى ونواتجه

ميكانيكية الانشطار النووى :

لقد تبين لنا فيما سبق أن أية نواة كتلتها اكبر من مجموع الدقـــائق الناتجة عن إنشطارها تدل على أن هذه النواة غـــير مســتقرة – ويرجـــع السبب في ذلك أن هذه الدقائق أو الجزيئات المنشطرة يصاحبها نقص فـــى الكتلة وأيضا تحرير طاقة. وكما رأينا أيضا أن كتلة نواة اليورانيوم هـــى بالتأكيد اكبر من مكونات الجزيئين المنشطرين عنها، من ثم فإن هذا يقودنا إلى التساؤل التالى : لماذا لاتعانى جميع النويات المنشطـــرة عـــن نـــواة اليورانيوم إنشطار تلقائى سريع ؟

فى الحقيقة أن الانشطار التلقائى يحدث بالفعل ولكن معدله صغير للغاية – وعلى الرغم من وضوح هذه الاجابة إلا أن المـــهتمين بدراســـة الانشطار النووى يتسائلون عن عدم استمرارية انقســـام نـــواة اليورانيـــوم بصفة مستمرة ؟

وللإجابة على ذلك علينا أن نتتبع التالى :-

فى الواقع إن الانخفاض التدريجى (مع زيادة عدد الكتلة) لطاقة الـــترابط عن كل نيوكلون للعناصر التى تزيد عدد كتلتها عـــن ٧٠ (أى العنـــاصر ذات عدد الكتلة العالية) وخاصة إذا كانت أكبر مـــن ١٤٠ بجعـــل هـــذه العناصر قادرة على المرور بعمليات الانشطار التلقائى مع خـــروج طاقـــة

تابعة لهذا الانشطار، ولكن نود أن نضيف حقيقة هامة وهـــى أن انشطـــار النيوكليدات التى عدد كتلتها أقل من ٢٣٠ يمكن أن تنشطر بصفة مســـتمرة وذلك فى حالة واحدة فقط وهى أنه لابد من قذف نواتها بدقائق ذات طاقـــة عالية لحدوث عملية الانشطار النووى .

ولتفهم ميكانيكية الانشطار النووى علينا أن نتفهم التالى :

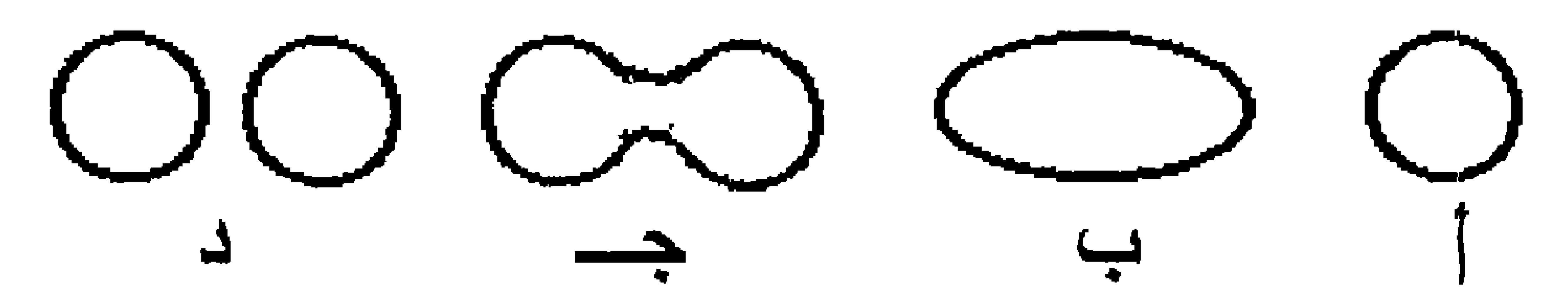
على الرغم من أن الحالة السابقة تبدو شبـــه متناقضـــة إلا أنـــها لاتختلف كثيرا عن الأتجاه الكيميـــائى وبـــالتحديد الكيميـــاء الحراريـــة - بالكيمياء الحرارية كما نعرف هى أحد فروع الكيمياء التى تختص بدراسة التغيرات الحرارية المصاحبة للتفاعلات الكيميائية - وهذا بالطبع يقودنـــا إلى قانون بقاء الطاقة الذى أشرنا إليه قبلا، فكما هو واضح أن كل مـــادة تمتلك قدرا معينا من الطاقة والتى هى عبارة عن طاقـــة حركيـــة وطاقـــة وضع، ومن ثم فتعتبر الطاقة الكيميائية صورة من صور طاقـــة الوضـــع وتكون مختزنة فى المادة نتيجة تركيبها .

وعليه فإنه يتضح لنا أن معظم التفاعلات الكيميائية ينتـــج عنـــها انبعاث حرارة أو امتصاص حرارة، وكما أشرنا فيما ســـبق أن الحـــرارة لاتأتى من العدم وعليه فإن مجموع الطاقات للمواد الداخلة فـــى التفـــاعل يجب أن يكون مساويا لمجموع الطاقات للمواد الناتجة من التفاعل - ومـــن ثم فإننا نفترض أن لكل عنصر طاقة ذاتية وهى مـــا تعـــرف بـــالمحتوى الحرارى، فإذا حدث بناء على ما سبق أى تفاعل كيميائى ونتج عنه انبعاث حرارة فإنه لابد أن يكون المحتوى الحرارى للمواد الخارجة من التفـــاعل أقل من المحتوى الحرارى للمواد الداخلة فى التفاعل، وبالطبع يظهر هـــذا الفرق فى الطاقة فى شكل حرارة.

ولكى نكون أكثر وضوحاً علينا أن نتخيل الأتـــى : عنـــد مزيـــج غـــازى الهيدروجين والأكسجين تحت درجة حرارة وضغط عادى فإننا نجد أنـــهما غير مستقرين تماماً وذلك فيما يتعلق بتكوين الماء السائل – ويرجع السبب فى ذلك إلى أن مجموع الطاقة الحرة للماء أقل بكثير من مزيـــج غـــازى الهيدروجين والأكسجين، ويلاحظ أن مزيج غازى الهيدروجين والأكسجين من الممكن حفظهما فى وعاء زجاجي لملايين السنين دون تكويـــن المـــاء الملحوظ، وبالطبع يرجع السبب فى ذلك إلى عدم حدوث تفاعل بين الغازين وذلك لأنه يتطلب كمية معينة من الطاقة يطلق عليها طاقة الحث وذلك قبل تكوين الماء. ولكن تحت الظروف العادية نجد أن هذه الطاقة مختزنة داخل جزئيات العنصر وبالتالى فهى مهملة ومن ثم فهى غير ملحوظـــة، وعليـــه فإنه يمكننا الحصول عليها وذلك بمرور شعاع كهربى داخل المزيج الـــذى يؤدى إلى تفاعل الغازين وتكوين الماء، وهناك صورة أخرى من التفاعلات الكمنيائية تتمثل فـــى الوقـــود مثـــل الخشـــب والكربوهيـــدرات وزيـــوت الهيدروكربون والأكسجين، ويلاحظ أن جميعهم غير مستقرين وذلك فيمـــا يتعلق بنواتج الإحتراق.

ومن ذلك نخرج من الأتى : أن الطاقة الحثية ضرورية لإحـــداث التفاعل، ولنعد مرة ثانية إلى ميكانيكية الإنشطار النووى، وهنا يجب علينا أن نتفهم بوضوح نموذج القطرة السائلة للنواة والذى يتمثـــل فـــى أبســـط صورة فى الأتى :

إذا نظرنا إلى أية قطرة سائلة فإننا نجد أن سطح القوى المؤثـــرة تميل إلى إستمرار هذه القطرة السائلة فى شكل ثابت بحيث تجعلها تقـــاوم أى تجزأ يحدث لها - وهى هنا تشبه القوى النووية التى تســـتخدم لحفـظ النواة فى حالة ثابت. أما بالنسبة لإنقسام أو تجزيىء القطرة الســائلة إلـــى قطرتين صغيرتين أو إنشطار النواة فلابد من إستخدام طاقة إضافية لحدوث هذا الإنقسام - وهنا نود أن نشير إلى أن هذا هو الأساس فى تفسير نظرية الإنشطار النووى التى أشار إليها فريش وميتنير - ولكن بوهـــر (العــالم الدنمركى) عمل على تطوير هذه النظرية فى عام ١٩٣٩م أثنــاء زيارتــه للولايات المتحدة الأمريكية وذلك عندما تحدث. أولا عن السلوك الكيفى ثم بعد ذلك عن السلوك الكمى مع عالم الفيزياء النووية "ويلير"• وبصفة عامة يمكن فهم ميكانيكية الإنشطار النووى من خلال القطرة السائلة المشطـــورة إلى قطرتين صغيرتين عن طريق إستخدام قوة مناسبة تجعلها تمر بمراحل متعددة تتمثل فى الشكل التالى :



نموذج القطرة السائلة للنواة خلال مرحلة إنشطارها

ويلاحظ من الشكل أن القطرة أولا تأخذ الشكل الكروى كما هو موضح فى (أ) ثم بعد إستخدام القوى المناسبة لانشطارها تبدأ تأخذ فـــى الاســتطالة حتى تتحول إلى الشكل البيضاوى كما هو موضح بالشكل (ب).

ولكن إذا كانت الطاقة المستخدمة لانقسام القطرة غير كافية لكـــى تتغلـب على التأثيرات السطحية للقطرة فإنها تعود مرة ثانية إلى الشكل الكـــروى الأصلى – أما إذا كانت الطاقة المستخدمة كافية فإن الشكل (ب) يســتمر فى الاستطالة حتى يحدث إختناق فى منطقة الوسط وبالتالى يأخذ الشكـــل (ج) – وعندما تصل مرحلة الانشطار إلى هذه الدرجة فإنـــه يبـدو مـن الصعب العودة مرة ثانية إلى الشكل الكروى وعليه فتنقســم النقطـــة إلـــى نقطتين صغيرتين وتأخذ فى النهاية الشكل (د) .

والوضع فى الانشطار النووى يشبه إلى حد كبير الانشطار الحـــادث فـــى نقطة السائل، وعلينا هنا أن نلاحظ أن الهدف من إندماج النواة بالنيوترون فى عملية الانشطار النووى هو الحصول على مكونات النواة ومن ثم فإننا نحصل على طاقة ناتجة عن الانشطار تتساوى مع طاقة ترابط النيوتــرون المضاف علاوة على طاقة الكينتيك للنيوترونات المطـــرودة مـن نواتـــج الانشطار [طاقة الكينتيك = نصف كتلة الذرة × مربع سرعة الكتلة].

ومن هنا فإننا نجد أنه من الممكن خروج الطاقة الحثية فى صورة إشعـــاع جاما [وهذا بالطبع فى حالة وجود طاقة كافية] وعليه فيطـــرد واحـــد أو

أكثر من النيوكلونات - ولكن إذا كانت هناك زيـادات فـى الطاقـة فـإن مكونات النواة "كما فى نموذج القطرة السائلة" سوف تمر خـلال ذبذبـات قوية ومختلفة والذى من نتيجته أن تأخذ النواة صورة الشكـل البيضـاوى (ب) الذى سبق الاشارة إليه.

أما إذا كانت الطاقة الناتجة عن إختراق النيوترون غـير كافيـة لشطر النواة فأنها [أى النواة] سوف تعود إلى حالتها الأصلية ومن ثم فإن الطاقة الذائدة سوف تستبعد عن طريق طرد أحد أنواع الدقائق الموجـودة بها - ولكن إذا حصلت النواة على طاقة كافية فإنها سوف تـأخذ تلقائيـا صورة الشكل (ج) ومن ثم فإن الرجوع إلى الشكل (أ) يصبح أمرا بعيد الاحتمال ولايمكن حدوثه، ويرجع السبب فى ذلك إلـى نفـور الكهربيـة الاستاتيكية بين الشحنة الموجبة الموجودة على نهايتى الشكل (ج) والتى أصبحت الآن متغلبة على الجزء الصغير نسبيا لقوة الترابط النووى العاملة في منطقة الوسط المختنقة•وبناء على ما تقدم من مراحل الأنشطار وجـد أنه عندما تأخذ النواة الشكل (ج) فأنها تمر بسرعة هائلة حتى تصل إلـى مرحلة الانشطار النهائى المتمثل فى الشكل (د) والذى هو عبـارة عـن الكتلتين المنشطرتين عن النواة الأصلية ، إلا أنه لوحظ هنا أنهما يندفعـان فى اتجاهين متضادين .

هذا ويفهم من هذا النموذج أن سلاسل التغيرات التى سبق شرحها تعليقا على الأشكال أ ، ب ، ج ، د أنه من الممكن أن يحدث هذا الانشطار

فقط إذا صوحبت عملية الانقسام بإنخفاض الكتلة وذلك عن طريق خـــروج الطاقة – ومن ثم يمكن الوصول إلى الحالة (د) والتى تتكون من نويتـــان منفصلتان هما أكثر استقلالا من الحالة الأولى المتمثلة فـــى الشكـــل (أ)، ولكن تبعا لنموذج القطرة السائلة فإننا نجد أن النويتـــــان الناتجتـــان عـــن الانشطار النووى لابد وأن يكونان متساويان – وعليه فإننا نجـــد هنـــا أول اعتراض على ذلك ، فكما عرفنا من قبل أن أحد المشاكل الرئيســـية فـــى عملية الانشطار النووى هى عدم التماثل للنواتج المنشطرة عن النواة وذلك فى معظم الحالات [وليست الكل] .

وبالنسبة لظاهرة عدم التماثل هذه نجد أن البعض يرى أنها تعـــود إلى بعض السلوك الخاص بتكوين أغلفة النواة [فى الواقـــع هـــذا مجـــرد احتمال] ، وبينما يرى البعض الآخر أن تفسير هذه الظاهرة يحتمل وجوده فى عملية انشطار نواة اليورانيوم ٢٣٥ بالنيوترون حيث وجد أنـــه نتيجـــة قذف النواة بالنيوترون أصبح العـــــدد الـــذرى للنـــواة ٩٢ [وهـــو عـــدد البروتونات] كما أن عدد الكتلة زاد واحدا قبل انشطار النـــــواة وبالتـــالى أصبح ٢٣٦ [وهو عدد النيوكليونات] – ولذا فإنه عند حدوث الانشطـــــار يظهر هناك ميول لتكوين مجموعتين وبالفعل هذا ما يحدث ومن ثـــم فـــإن المجموعة الأولى يتكون عدد نيوتروناتها من ٥٠ ، والمجموعـــــة الثانيـــة يصل عدد نيوتروناتها إلى ٥٠ أيضا ، فى نفس الوقـــت إذا افترضنـــا أن

العدد المناسب للبروتونات فى المجموعة الأولى هو ٣٢ بروتون ، وأيضا العدد المناسب للمجموعة اللثانية هو ٧٨ نيوترون ، من ذلك نخرج بالتالى:

المجموع الكلى للبروتونات فى المجموعتين هو :

= ٥٠ + ٣٢ = ٨٢ وهو عدد الكتلة

المجموع الكلى للنيوترونات فى المجموعتين هو :

= ٥٠ + ٧٨ = ١٢٨ وهو العدد الذرى

وعليه فإن المجموع الكلى للمجموعتين :

= ٨٢ + ١٢٨ = ٢١٠ نيوكليون

أى أن الفارق هنا هو :

= ٢٣٦ قبل إنشطار النواة - ٢١٠ = ٢٦ نيوكليون

وهذا العدد (٢٦) مشترك بين المجموعتين.

وهناك بعض الأراء التى تقول أن ال ٢٦ نيوكليون تقسم بطرق عديدة ومختلفة وهذا يوضح أن هناك العديد من الشظايا المنشطرة المختلفة الكتلة والعدد الذرى، وبالنسبة للتوزيع الأمثل لـ٢٦ نيوكليون فقد وجد أنه من خلال الطاقات الحثية يمكن تقسيمها بالتساوى بين المجموعتين وذلك بأخذ ١٣ نيوكليون لكل جزء ومن هنا فإننا نجد أن الكتل الفورية للشظايا المنشطرة سوف تكون كالأتى :

٨٢ + ١٣ = ٩٥ بروتون ، ١٢٨ + ١٣ = ١٤١ نيوترون

[يلاحظ أن هناك إحتمال ضعيف للتوزيعات الغير متساوية لـ٢٦ نيوكليون على الشظايا الاخرى المنشطرة الناتجة عن الكتل الأقل]، وفى

حالة الانشطار اللاتماثلى فقد وجد أن النيوترونات فـــى مجموعـــة الكتــل الخفيفة وأيضا عدد البروتونات فى مجموعة الكتل الثقيلة يجب أن يزيد عن ٥٠، ولكن مع النيوكليدات ذات عدد الكتلة الأقل من ٢١٠ فإن هــذا ليــس محتملا• ونتيجة لما سبق يتضح لنا أن الميل لتشكيل أغلفة مقفولة ليس لها أى تأثير على سلوك عملية أنشطار النواة، وفى هــذه الظـــروف نجــد أن الانشطار التماثلى يصبح اكثر إحتمالا كطريقة لعملية الانشطـــــار النـــووى وهذا مالاحظناه من قبل فى عنصرى البيسمث والرصاص.

لكن نود أن نقول هنا أن حدوث الانشطار المتماثل والغير متماثل يظهر فى النيوكليدات المتوسطة في العدد الذرى والكتلة، ويعلل السبب فى حدوث الانشطار بأن تأثير تكوين الغلاف المقفول ليـــس قويـــا فـــى هـــذه الحالات ويتضح ذلك من خلال طاقة الجسيم المتسببة فى عملية انشطـــــار النواة حيث أنها تزداد كما يؤدى بالتالى إلى زيادة الطاقة الحثيـــــة للنـــواة المركبة وهذا بالتالى يؤدى إلى زيادة محـــــدودة داخــل الاغلفـــة المغلقـــة للنيوكليون ممال يؤدى في النهاية إلى تشكيلها ولكن بصعوبة.

وفى النهاية نود أنت نقول أنه مما لاشك فيه أن الانشطار التماثلى بدأ يحظى بإهتمام شديد كما أن اهميته تزداد يوما بعد يـــوم ويعتقــد أنـــه سيسود فى النهاية وذلك بغض النظر عن كتلة النيوكليـــد المـــارة بعمليـــة الانشطار.

الطاقة الحرجة لاحداث الانشطار النووى :

أن الطاقة الحرجة [أو الطاقة الحثية] الضرورية لحدوث الانشطار النووى ماهى إلا الطاقة التى تزود بها النواة الأصلية وذلك بغرض تحويلها إلى الشكل (ج) السابق الإشارة إليه فى صفحة ٦٢، حيث طاقة النفور الكهرواستاتيكى تتغلب على الطاقة السطحية المقاومة لعملية الانشطار.

وبالإضافة إلى ما سبق فإنه يتضح لنا من خلال المعالجة الكمية التى أقيمت على أساس نموذج القطرة السائلة أن بوهر و ويلير [لقد أشرنا من قبل إلى ذلك] قاما بإيضاح أنه إذا كانت طاقة النفور الكهروإستاتيكى اكبر من ضعف الطاقة السطحية الواقعة على القطرة فإن القطرة أو النواة سوف تمر بعملية الانشطار أو الإنقسام الفورى. وببساطة شديدة نستطيع القول :

أن الطاقة الحرجة لنواة اليورانيوم ٢٣٥ وذلك بعد إمتصاصها للنيتوترون المقذوف بغرض إنشطارها تقدر بحوالى ٥,٥ مليون الكترون فولت – وتقدر نفس الكمية أيضا للبلوتونيوم ٢٣٩ واليورانيوم ٢٣٣. أما بالنسبة للعناصر الأخف من ذلك مثل البيسمث والرصاص والتانتالم فإن الطاقة الحرجة لا نقسام أنويتهم اكبر بكثير من التى تحتاجها نواة اليورانيوم ٢٣٥ حيث يعتقد أنه يلزم لانوية هذه العناصر أولا طاقة عالية جدا مصاحبة للاجسام المقذوفة بغرض شطر أنويتهم تقدر بحوالى عشرات

الملايين من الالكترون فولت حتى يتسنى لهذه الانوية الحصول على الطاقة الحرجة اللازمة لشطر أنويتهم.

الانشطار وطاقة النيوترون :

فى الواقع أنه ليست هناك طريقة دقيقة معروفة حتى الآن لحساب الطاقات الحرجة لاحداث الانشطار النووى، ولكن يعتقد أن أقرب هذه التقديرات الناتجة عن التجارب التى أجريت فى هذا القطاع هى بالنسبة لليورانيوم ٢٣٨ فقد وجد أن الطاقة الحرجة للانشطار وذلك بعد إمتصاص النواة للنيوترون هى ٦,٣ مليون الكترون فولت، بينما فى اليورانيوم ٢٣٥ تقدر بحوالى ٥,٥ مليون الكترون فولت.

مما سبق يتضح لنا أن الفارق بين اليورانيوم ٢٣٨، ٢٣٥ هو ٠,٨ مليون الكترون فولت، وبالطبع هذا يعنى أن اليورانيوم ٢٣٥ قابل للانشطار بسرعة اكبر من اليورانيوم ٢٣٥ – ولكن علينا أن نراعى أن ال٠,٨ مليون الكترون فولت ليست من الاهمية بمكان إذا عرفنا أن أنشطار نواة اليورانيوم ٢٣٥ لايمكن ان تنشطر إلا عن طريق نيوترون حرارى ذو طاقة تقدر بجزء من الالكترون فولت – بينما اليورانيوم ٢٣٨ وجد أن نواته تحتاج على الأقل نيوترون ذو طاقة لاتقل عن ١ مليون الكترون فولت وذلك لاحداث عملية الانشطار بمساعدة الطاقة الحرجة• ولكن علينا أن نتذكر هنا حقيقة هامة وهى انه قبل الحصول على التقديرات الكمية

لحدوث عملية الانشطار النووى أو معرفة أية معلومات خاصة بإنشطار نواة اليورانيوم ٢٣٥ بالنيوترون البطىء كان " بوهر " قد تنبأ فى فبراير عام ١٩٣٩م بأن نظير اليورانيوم الخفيف وهو بالطبع اليورانيوم ٢٣٥ يمكن أن ينشطر بنيوترون حرارى، ولقد إعتمد بوهر فى ذلك على الآتى :

يقول بوهر : حيث أن اليورانيوم ٢٣٥ يمتلك عدد متعادل من البروتونات وغير متعادل أو شاذ من النيوترونات وعليه فإن النواة المركبة تكونت بواسطة إمتصاصها لنيوترون وذلك بحصولها على اعداد متساوية من النيوترونات والبروتونات – إذن فإن اليورانيوم ٢٣٥ بهذه الطريقة يكون قد حصل على طاقة اكبر من اليورانيوم ٢٣٨ – وذلك لأن اليورانيوم ٢٣٨ هو فى الاساس متوازن فى اعداد النيوترونات والبروتونات ولكن عند قذفه بالنيوترون الذى تمتصه النواة بالتبعية فإنه يصبح متوازن فى اعداد البروتونات وشاذ فى اعداد النيوترونات.

ويضيف بوهر : أن النواة المركبة التى شكلت من اليورانيوم ٢٣٥ والنيوترون الحرارى الذى قذفت به سوف تصبح فى حالة اكثر نشاطا من نواة اليورانيوم ٢٣٨ بعد قذفها بالنيوترون – وهنا يقول بوهر أن نواة اليورانيوم ٢٣٥ تمر بعملية الانشطار النووى بسهولة اكثر من نواة اليورانيوم ٢٣٨● فى الواقع أن بوهر و يلير الامريكى قاما بحسابات تفصيلية فى هذا المجال إلى أن توصلا إلى الحصول على الطاقة الحرجة للنواة وأيضا الطاقة المكتسبة عند دخول النيوترون لجسم النواة والتى عن

طريقهما يتم الانشطار النووى - ولكن نظراً لطول هذه الحسابات فإننا سنكتفى هنا بالنتائج التى توصلا إليها وهى أن الطاقة الحرجة لليورانيوم ٢٣٨ هى ٦,٣ مليون الكترون فولت وهذه هى التى يتم عنها حدوث الانشطار النووى لكن النواة اكتسبت فقط ٥,٤ مليون الكترون فولت عند امتصاصها النيوترون المقذوف ذو الطاقة الكينيتية التى تساوى صفر، بينما فى حالة قذف النواة بنيوترون حرارى ذو طاقة تقدر بحوالى ٠,٠٣ الكترون فولت فإن عملية الانشطار هنا أمر بعيد الاحتمال ولهذا فقد تبين أن هذه النيوترونات تحتاج إلى طاقة تقدر ب٦,٣ - ٥,٤ = ٠,٩ مليون الكترون فولت من الطاقة الكينيتية وذلك حتى يتم انشطار نواة اليورانيوم ٢٣٨ ولكن التجارب بينت أن ٠,٩ مليون الكترون فولت ليست بالكافية لحدوث عملية الانشطار ومن ثم فقدوجد أنه لابد من أن النيوترون المقذوف يحتاج على الأقل ١مليون الكترون فولت لإحداث عملية الانشطار.

أما اليورانيوم ٢٣٥ فهو مختلف تماما عن اليورانيوم ٢٣٨ وذلك لأن طاقته الحرجة تقدر بحوالى ٥,٥ مليون الكترون فولت ، لكن وجد أن هذه الطاقة تصل إلى ٦,٥ مليون الكترون فولت عندما تصطدم النواة بالنيوترون الحرارى مما يؤدى فى النهاية إلى حدوث عملية الانشطار. وكما أشرنا من قبل عن تنبؤات بوهر فقد أثبتت التجارب التى تمت فى عام ١٩٤٠م صحة وتأكيد ما أعلنه بوهر وهى المتعلقة بالتجارب التى أجريت

على النظائر المنفصلة والتى قالت أن اليورانيوم ٢٣٥ ينشطر بنيوترون بطيء بينما اليورانيوم ٢٣٨ ينشطر بنيوترون سريع.أما بالنسبة لليورانيوم ٢٣٣ فقد وجد أن طاقته الحرجة هى ٥,١ مليون الكترون فولت ، أما البلوتونيوم ٢٣٩ فهى ٤,٨ مليون الكترون فولت - وفى كلتا الحالتين تحتوى النواة على عدد متوازن من البروتونات وغير متوازن من النيوترونات - وعليه فعند قذف نواة كل من اليورانيوم ٢٣٣ والبلوتونيوم ٢٣٩ فإن نواة كل منهما تصبح غير متوازنة فى اعداد البروتونات والنيوترونات - ومن ثم فإن الطاقة الكلية بعد قذف النواة بالنيوترون البطيء تصبح ٦,٦ مليون الكترون فولت لليورانيوم ٢٣٣ و ٦,٤ مليون الكترون فولت للبلوتونيوم، وبالتالى تنتج الطاقة الحرجة لكل نواة ويحدث الانشطار النووى للكل. وبنفس الطريقة السابقة تستعمل نيوترونات الطاقة لحدوث إنشطار الثوريوم ذو العدد الذرى ٩٠ وعدد الكتلة ٢٣٢، والبروتاكتينيوم ذو العدد الذرى ٩١ وعدد الكتلة ٢٣٢ وأيضا النيبتيونيم ذو العدد الذرى ٩٣ والعدد الكتلة ٢٣٧ - ولكن هنا نرى أن الطاقات المستخدمة لحدوث إنشطار هذه الأنوية تتمثل فى الآتى :

١-بالنسبة للثوريوم ٢٣٢ فهو فى الصورة العادية متوازن بالنسبة لاعداد البروتونات والنيوترونات ولكن عند قذفه بالنيوترون فإن نواته تصبح غير متوازنة من حيث أعداد النيوترونات ولكنها متوازنة فى أعداد البروتونات. وهنا نجد أن الطاقة المتحررة نتيجة إمتصاص النواة

للنيوترون البطيء تقدر بحوالى ٤,٩ مليون الكترون فولت بينما الطاقة الحرجة الناتجة عن قذف النواة بالنيوترون فهى تقدر بحوالى ٦ مليون الكترون فولت.

٢- أما أنوية كل من البروتاكتينيوم ٢٣١، والنبتيوم ٢٣٧ فهما يحتويان على أعداد متوازنة من النيوترونات وشاردة من البروتونات - وعليه فعند قذفهما بالنيوترونات فإنهما يتحولان إلى أنوية غير متوازنة ذات أعداد شاردة لكل من البروتونات والنيوترونات ومن ثم فإن طاقة الترابط النووى لكل منهما تنخفض نسبيا - وينتج من ذلك أن الطاقة المتحررة (نتيجة قذف الانوية بالنيوترونات الحرارية) تصل فى البروتاكتينيوم ٢٣١ إلى ٤,٩ مليون الكترون فولت، وتصل فى النبتيونيم ٢٣٧ إلى ٥,٥ مليون الكترون فولت بينما نجد أن طاقات الإنشطار الحرجة تصل فى الأولى إلى ٦ مليون إلكترون فولت وفى الثانية إلى ٦,٦ مليون الكترون فولت. وهنا نود أن نشير إلى أن أنوية العناصر الثلاثة السابق الاشارة إليها وهى [الثوريوم ٢٣٢، بروتاكتينيوم ٢٣١ والنبتيونيم ٢٣٧] يتم قذفها بنيوترونات ذات طاقة لاتقل عن ١,١ مليون الكترون فولت حيث يتم امتصاصها بواسطة الأنوية وذلك لإنتاج الطاقة الحرجة لإحداث الانشطار النووى.

وفى النهاية نود أن نقول أنه من خلال العرض العام للتغيرات التى حدثت فى مختلف أنواع النواتج المنشطرة الناتجة عن النيوترون

المضاف يتبين لنا أن الطاقة المتحررة تكون كبيرة فـــي النـــواة الأصليـــة المحتوية على أعداد متوازنة من البروتونات وشاذة مـــن النيوترونـــات أو أعداد شاذة لكل من البروتونات والنيوترونات – بينما يحدث العكـــس فـــي حالة النواة التى أعداد بروتوناتها شـــاذة ولكنـــها متوازنـــة فـــى أعـــداد النيوترونات أو النواة المتوازنة فى كل من البروتونات والنيوترونات.

ففى الحالة الأولى : نجد أن النواة تنشطر بمجرد إختراقها بنيوترون بطيء بينما **الحالة الثانية** تتطلب نيوترون سريع ذو طاقة لاتقـــل عـــن ١ مليون الكترون فولت. لذا فإنه يتضح لنا أن اليورانيوم ٢٣٣، اليورانيـــوم ٢٣٥ والبلوتونيوم ٢٣٩ والتي نواة كلا منهما تحتوى على عدد متوازن من البروتونات وشاذ من النيوترونات وكلها جميعا سريعة الانشطار حيث يتـــم ذلك عن طريق قذفها بنيوترون يحمل أية كمية من الطاقـــة. أمـــا الأنويـــة المحتوية على أعداد شاذة لكل من البروتونات والنيوترونات مثل :

البروتاكتينيوم ٢٣٢، نيبتيونيم ٢٣٦ ونيبتيونيم ٢٣٨ وأيضا أميريكيوم ٢٥٢ فهى أيضا قابلة للانشطار – ولكن من الناحية الأخرى نجد أن نيبتيونيـــوم ٢٣٧ الذى يحتوى على اعداد شاذة من البروتونات واعداد متوازنـــة مـــن النيوترونات وأيضا الثوريوم ٢٣٢ واليورانيوم ٢٣٨ اللذان تحتوى أنويـــة كل منهما على أعداد متعادلة لكل من البروتونات والنيوترونات فإننا نجـــد هنا أن عملية إنشطارهما تتطلب نيوترون سريع لانتاج الطاقة الحرجة التى تعمل على سرعة حدوث الانشطار النووى.

نواتج الإنشطار النووى

خصائص نواتج الإنشطار النووى :

فى الحقيقة أن معرفة الخصائص الفيزيقية والطبيعية الكيميائية لنواتج الإنشطار هى من الأهمية بمكان كبير وخاصة لعلاقتها بإستعمال الإنشطار النووى كمصدر للطاقة – ويتضح لنا ذلك من الآتى :

نظرا لأن الشظايا الاولية تحمل معظم طاقة الإنشطار كطاقة كينتينية لذا فإن سرعتها الأولية تكون عالية جدا حيث أنها تصل إلى ما يقرب من $١٠^{٩}$سم فى الثانية. فى الواقع أن السرعة الفعلية للشظية المنشطرة تعتمد أساسا على كتلتها، وعليه يتضح لنا أن مقدار السرعة يكون أكبر من $١٠^{٩}$سم فى الثانية. بالنسبة للجسم الخفيف المنشطر كما أنه يكون أقل فى الجسم الثقيل، وبالإضافة إلى سرعة الشظية المنشطرة فإننا نجد أن لها القدرة على الإختراق وذلك على الرغم من كبر حجم الشظية أو الجسم المنشطر نسبيا حيث يبلغ سرعة إختراقها فى الهواء ما بين ١,٩٥ سم بالنسبة لاثقلها و ٢,٥٤سم لأخفها وزنا – بينما نجد فى نفس الوقت أن النيوترونات وإشعاعات جاما المتكونة عن الإنشطار وأيضا دقائق بيتا الناتجة عن تتابع الإنحلال الإشعاعى للشظايا المنشطرة لها جميعا قوة إختراق أكبر بكثير عن سابقتها. والآن نود أن نشير إلى نقطة هامة لم نتحدث عنها من قبل وهى الشحنات المتعلقة بالشظايا المنشطرة بمعنى آخر الإلكترونات المدارية.

فعلى سبيل المثال ذرة اليورانيوم تحتوى على ٩٢ إلكترون ولكن عندما تبدأ هذه الذرة فى الإنشطار يتم بالتبعية إنتزاع ٤٠ إلكترون من الذرة، وعليه فإن كل شظية ناتجة عن الإنشطار تحتوى على عدد من الإلكترونات يقل بمقدار ٢٠ عن العدد الأصلى، ومن ثم فإن أيه أيون يحمل هذا العدد من الشحنات التى أصبحت موجبة (فالأيون كما أشرنا من قبل عبارة عن ذرة أو جزئ فقدت أو أكتسبت إلكترونا واحدا أو أكثر وهى تصبح عن طريق هذا التأين مشحونة كهربيا ، ومن أمثلة الإيونات هذه دقيقة ألفا الى هى ذرة هيليوم ينقصها إلكترونات ، وكذلك البروتون والذى هو ذرة هيدروجين ينقصها إلكترون واحد).

مما سبق يتضح لنا أن هذه الدقائق أو الإيونات المشحونة ستكون حاملة لقوة تأين هائلة كالذى يتم إستعمالها بواسطة الغرف الإنشطارية أو غرف الإنشطار النووى لمتابعة النيوترونات . وهنا نود أن نضيف إلى ما سبق أن أول تأييد لحقيقة الإنشطار النووى جاء نتيجة لدراسة التأينات الناتجة بواسطة الدقائق المنشطرة. وبالرجوع مرة ثانية إلى عملية الإنشطار النووى فإننا نلاحظ أن الشظايا الأولية المنشطرة الثابتة غالبا وذلك لإحتوائها على نسبة عالية من النيوترونات لإستقرارها تتعرض دائما لإنشطة دقائق بيتا السالبة – ويمكن توضيح ذلك فى الآتى :

كما أشرنا من قبل أنه يوجد النواة لأية ذرة نوعان من القوى التى تؤثر بين الدقائق المكونة لها وهى قوى التنافر بين البروتونات الموجبة الشحنة ، وقوى التجاذب بين مكونات الذرة وهى البروتونات والنيوترونات

والذى يقض كل منهما جزءا من حياته على صورة بروتون والجزء الآخر على صورة نيوترون وذلك نتيجة لتبادل الميزونـــات بينـــهما فـــالبروتون يتحول إلى نيوترون + ميزون موجب [بوزيترون]. والنيوتـــرون يتحـــول أيضا إلى بروتون + ميزون سالب [إلكترون].

أما بخصوص خروج جسيم بيتا من نواة ذرة أى عنصر فإننا نجد أن إنطلاق دقيقة بيتا يتم نتيجة تحول أحـــد النيوترونـــات إلـــى بروتـــون وإلكترون (كما أشرنا) ومن ثم يبقى البروتون بنواة الذرة بينمـــا ينفصـــل الإلكترون ويتطاير خارج نواة الذرة ويسمى دقيقة بيتا السالبة وهنا نرى أن عدد الكتلة يظل ثابتا وذلك لأن الإلكترون مهمل الكتلة ، لكـــن فـــى نفـــس الوقت يزداد العدد الذرى بمقدار واحد نتيجة لزيادة عدد البروتونات بمقدار واحد، ولكن هنا نجد ثمة شيئا آخر وهو أن هذا البروتون الزائـــد يتطلـــب وجود إلكترون مقابل له خارج النواة وعليه فتكتسب الذرة هذا الإلكـــترون من الجو، وفى النهاية يتحول هذا العنصر أو الشظية المنشطرة إلى عنصر آخر نتيجة لتغير العدد الذرى. وبالعودة مرة ثانية إلى ما ســـبق نجـــد أن هناكك ٥ أنواع ثابتة من النيوكليدات وهى كريبتون ٨٦ ، زيركونيـــم ٩٦، نيودايميم ١٥٠ وأخيرا سماريوم ١٥٢. فى نفس الوقت لوحـــظ أن هنـــاك حوالى ١٥٤ نوع موجود بين نواتج الإنشطار النـــووى الأوليـــة – ولكـــن لوحظ أن عنصر الريوبيديم ٨٤ غير عادى وذلك لأنه يخرج دقـــائق بيتـــا السالبة والموجبة معا. ومن خلال التجارب التى تمت فى هذا القطاع تبيـــن أن كل شظية ناتجة عن الإنشطار النووى لها مجموعة إشعاعيـــة قصـــيرة

تتطلب بالتبعية إنبعاث دقائق بيتا السالبة. ولقد وجد فى المتوسط أن سلسلة الإنحلال الإشعاعى تتكون من ٣ مراحل ، كما لوحظ أن السلاسل القصيرة والطويلة أكثر حدوثا فى عملية الإنحلال الإشعاعى. وعليه فقد لوحظ أن الشظايا المحتمل إنشطارها وهى سترونتيوم ذات العدد الذرى ٣٨ وعدد الكتلة ٩٥، والأكسينون ذات العدد الذرى ٥٤ وعدد الكتلة ١٣٩ وذلك مع النيوكليدات الثابتة والمحتوية على نفس عدد الكتلة مع العناصر السابقة [يلاحظ هنا أن النيوكليدات الثابتة تكونت نتيجة إنحلال سلسلة بيتا السالبة] ومن هذه النيوكليدات الثابتة عنصر الموليبدينم [عدده الذرى ٤٢ وعدد كتلته ٩٥]، وعنصر اللانثانوم [عدده الذرى ٥٧ وعدد كتلته ١٣٩] - وعليه فقد وجد أنه فى الحالة الأولى يتم طرد ٤ دقائق بيتا السالبة بينما فى النيوكليدات الثابتة يتم طرد ٣ دقائق فقط ومن ثم فإن المجموع الكلى لدقائق بيتا السالبة المطرودة تبلغ ٧.

ولكن من خلال التجارب العديدة التى إجريت فى هذا المجال وجد أن القيمة المتوسطة لإعداد بيتا السالبة هو ٦ وبناء على ذلك تم تقدير المتوسط بـ ٣ مراحل فى كل سلسلة إنحلال لدقائق بيتا السالبة. ولكن هنا نود أن نقول أن العمليات الإنشطارية وإنحلال دقائق بيتا السالبة ليست سهلة كما يتصور البعض والدليل على ذلك أننا كما بينا فيما سبق أنه يوجد هناك إحتمال لحوالى ٩٠ شظية منشطرة [ناتجة عن إنشطار نواة اليورانيوم ٢٣٥ بنيوترون حرارى] ومن ثم إذا إفترضنا أن معظم السلاسل تخلق ٣ مراحل لإنحلال بيتا السالبة فإننا نحصل فى النهاية على نواتج

إنشطار تقدر بأكثر من ٢٥٠ نيوكليد مشع – ولكن الأمر لم يتوقف عند هذا الحد وذلك لأنه يبدو واضحا أن عملية الإنشطار تنتج خليط علـــى درجـــة عالية من التعقيد لم ندخلها فى تقديرات عمليـــة الإنشطـــار مثـــل الكتـــل المتشابهة والنواتج ذات النهايات الثابتة، ونتيجة لم ســـبق فإنـــه يبـــدو أن مشكلة تحديد عدد الكتلة والعدد الذرى للشظايا المنشطرة وأيضـــا التحقـــق والتأكد من معرفة أعضاء السلاسل المنحلة يعد أمرا صعبا للغاية – ولكـــن على الرغم من ذلك إستمر العلماء فى أبحاثهم وتجاربهم من أجل معرفـــة هذه الحقائق وهنا نشير إلى أن معظم الإنجازات التى تمت فى هذا القطاع تعود إلى فترة ماقبل الحرب العالمية الثانية بقليل إلا أن أهـــم الإنجـــازات التى تمت حدثت أثناء الحرب العالمية الثانية حيث تم التوصل إلى معرفـــة أكثر من ٧٠ سلسلة وأكثر من ٢١٠ نوع من النيوكليدات المشعة المختلفـــة وأيضا العديد من النظائر التابعة لهذه النيوكليدات .

سلاسل الإنحلال الإشعاعى :

فى الواقع أنه من خلال التجارب التى تمت فى هـــذا المجـــال أمكـــن التوصل إلى الكثير من المعرفة حول نوعية الشظايا المنشطرة ونواتـــج الإنحلال الإشعاعى. فكما ذكرنا من قبل أنه يوجدد ٣ مراحل لخروج أو إنبعاث دقائق بيتا فى كل سلسلة إنحلال إنشطـــارى ، وغالبيـــة هـــذه السلاسل إما طويلة أو قصيرة المدى. فالسلاسل القصيرة (غالبـــا مـــا تتطلب مرحلة أو إثنتين) تحدث بصفة عامة فى بداية ونهاية كـــل مـــن المجموعة الخفيفة والثقيلة – أما السلاسل الطويلة فتوجد حول منتصف

لأن الخوارج المنشطرة تكون عالية. ولكى تكون الصورة أكثر وضوحا رأينا أنه لابد من الإشارة إلى الأمثلة التالية :

-عنصر الكريبتون [عدده الذرى ٣٦ ، وعددد كتلته ٩٧] : يعد هذا العنصر واحدا من أطول سلاسل الإنحلال الموجودة فى نواتج الإنشطار الخفيفـــة والذى يتمثل فى المعادلة التالية :

$_{٣٦}$كريبتون^{٩٧} ←(قصيرة)← $_{٣٧}$ريوبيديم^{٩٧} ←(قصيرة)← $_{٣٨}$سترونتيم^{٩٧} ←(قصيرة)←

$_{٣٩}$يتريم^{٩٧} ←(قصيرة)← $_{٤٠}$زيركونيم^{٩٧} ←(١٧ساعة)← $_{٤١}$نيوبيم^{٩٧} ←(٧٢ساعة)←

$_{٤٢}$موليبدنيم^{٩٧} (وهو عنصر مستقل).

٢- عنصر الإكسينون (عدده الذرى ٥٤ وعدد كتلته ١٤٣) وهو يمثل سلسلة طويلة فى المجموعة الثقيلة حيث يتضح انحلاله مـــن خـــلال المعادلـــة التالية:

$_{٥٤}$إكسينون^{١٤٣} ←(١ثانية)← $_{٥٥}$سيزيوم^{١٤٣} ←(قصيرة)← $_{٥٦}$باريوم^{١٤٣} ←(١٢ثانية)←

$_{٥٧}$لانثانوم^{١٤٣} ←(١٤ دقيقة)← $_{٥٨}$سيريوم^{١٤٣} ←(٣٣ساعة)← $_{٥٩}$براسيوديميم^{١٤٣} ←(١٣,٧يوم)←

$_{٦٠}$نيوديميم^{١٤٣}(وهو عنصر مستقر).

٣- وتوجد سلسلة أخرى تستحق التنوية هنا وذلك لأنها لعبت دوراً هاماً فـــى تجارب هان وإستراسمان وهى الخاصة بعنصر الإكسينون الـــذي عـــدد ذراته ٥٤ وعدد كتلته ١٤٠ والتي نتجت من تفاعل النيوترونات مع نواة اليورانيوم والذي أطلق عليها فى ذلك الوقت الراديوم ولكن وجد بعد ذلك

أنها تنفصل من الراديوم وليس من الباريوم ويتضح ذلك من المعادلـــة التالية :

$_{٥٤}$إكسينون^{١٤٠} $\xleftarrow{\text{١٦ ثانية}}$ $_{٥٥}$سيزيوم^{١٤٠} $\xleftarrow{\text{١,١ دقيقة}}$ $_{٥٦}$باريوم^{١٤٠} $\xleftarrow{\text{١٢,٨}}$

$_{٥٧}$لانثانوم^{١٤٠} $\xleftarrow{\text{٤٠,٢ ساعة}}$ $_{٥٨}$سيزيوم^{١٤٠} (عنصر مستقر)

٤- وبالإضافة إلى ما سبق توجد سلسلة أخرى على جانب كبير من الأهميــة التى عدد كتلتها على التوالي ٩٩ ، ١٤٧ وذلك لأن نظائرهمـــا يتمــيزان بطول العمر وهما التيتشنينيم ذو العدد الـــذرى ٤٣ وعــدد كتلتــه ٩٩، والبروميتيم ذو العدد الذرى ٦١ وعــدد الكتلــة ١٤٧ وبالنســبة لــهذين النظيرين يعتقد أنهما لا يوجدان فى الطبيعة أو على الأقل وجودهما أمــر مشكوك فيه.

أما بالنسبة للنظير تيتشتينيم فيمكن الحصول عليه كالآتى :

$_{٤٢}$موليبدينم^{٩٩} $\xleftarrow{\text{٦٧ ساعة}}$ $_{٤٣}$تيتشنينيم^{٩٩} $\xleftarrow{\text{٢×١٠}^{٥}\text{ عاماً}}$ $_{٤٤}$روثينيم^{٩٩}(وهو مستقر)

ويتميز نظير التينشنينيم بأن فترة نصف حياته تصل إلى ما يقــرب مــن ٢٠٠٠٠٠ عاماً، ولكن تم الحصول عليه الأن بكميات محسوسة وغالباً ما تكون فى صورة نقية.

أما النظير الآخر وهو البروميثيم فيمكن الحصول عليه مـــن خـــلال سلسلة الانحلال التالية :

$_{٦٠}$نيوديميم^{١٤٧} $\xleftarrow{\text{١١,١ يوم}}$ $_{٦١}$بروميثيم^{١٤٧} $\xleftarrow{\text{٢,٦٥ سنة}}$ $_{٦٢}$سماريوم^{١٤٧}

والنظير بروميثيم يعتبر من النظائر التي تعيش أطول فترة ممكنة والتي تقدر بحوالى ٢,٦٥عاما.

وبالإضافة إلى ما سبق فإنه يوجد من بين نواتج الإنشطار كميات صغيرة من البرومين ذو العدد الذرى ٣٥ وعدد الكتلة ٨٢، والريوبيديم (وعدده الذرى ٣٧ وعدد كتلته ٨٦) والسيزيوم (عدده الذرى ٥٥ وعدد كتلته ١٣٦) وهى فى الواقع نواتج هامة نظرا لأنها تعتبر أمثلة للنوكليدات ذات الأغطية الواقية أو المحمية – وكل واحد من هذه النيوكليدات له أثنين مستقرين وعدد كتلتاهما أعلى وأقل بوحدة واحدة فقط على الترتيب ويتضح ذلك من الآتي :

$_{٣٥}$البرومين^{٨٢} محمى بواسطة كل من $_{٣٤}$سيلينيوم^{٨٢} (مستقر)

و$_{٣٦}$كريبتون٨٢ (مستقر)

ولقد لوحظ هنا شئ هام وهو أن البرومين وبقية النيوكليدات المحمية لا تنتج بانحلال دقائق بيتا الموجبة أو السالبة ولكنها إما أن تكون أحد نواتج الشظايا المنشطرة أولاً أو ربما تكونت نتيجة خروج النيوترونات السريعة من أحد الشظايا الناتجة عن إنشطار نواة اليورانيوم .

فى النهاية نود أن نقول أن ما سبق هو أهم الملاحظات حول سلاسل الانحلال الإنشطارى كما أننا نضيف إلى ذلك أن انشطار اليورانيوم أوجد عدد كبير من النيوكليدات المشعة التي لا يمكن

الحصول عليها بالإجراءات العادية لانقسام اليورانيوم والتي وجد فيها أن معدلات النيوترونات إلى البروتونات فى النواتـــج المنشطــرة لا تختلف كثيراً عن العناصر الثابتة - وهذا على العكس فــى الحالــة الأولى التي وجد فيها أن ارتفاع معدلات النيوترونات إلى البروتونات فى النواتج المنشطرة أكبر بكثير عما لو تم الحصول عليها باستعمال الدقائق المعجلة.

الفصل الخامس
الاستفادة من الطاقة النووية

الطاقة الناتجة عن الإنشطار النووى

إن فكرة استخدام الذرة كمصدر لتطوير الطاقة فى القرن العشرين ترجع فى الواقع إلى الاكتشاف المذهل لظاهرة النشاط الإشعاعى. ولكي نحصل على تصور أكثر وضوحاً حول الطاقة النووية علينا أن نعود إلى بدايات هذا القرن وذلك عندما أكتشف أن هناك ذرات معينة تبعث دقائق ذات شحنات كهربية بصورة تلقائية يجعلها قادرة على التأين والتأثير فى الألواح الفوتوغرافية وهذا يدل بالطبع على أنها تخرج طاقة.

فى الحقيقة أن هذا الاكتشاف جعل الكثيرين يتساءلون عن مصدر هذه الطاقة مما جعل العديد من العلماء والباحثين يقومون بالعديد من التجارب والدراسات للإجابة عن هذا التساؤل حتى تم التوصل إلى إجابته أخيراً والتي تمثلت فى نقطتين لقيتا الكثير من الإهتمام وذلك فى عام ١٩٠٢م ولكن يتم نشرهما لأسباب غير واضحة.

وهنا يقول بيير وماري كوري حول هذا الموضوع الآتي :- [إن كل ذرة ذات مواد مشعة تعمل كمصدر ثابت للطاقة ... ولقد وجد من خلال التجارب حول تحديد أصل هذه الطاقة المشعة أنه لابد من افتراض أن هناك مجموعتين **الأولى** : وهى أن كل ذرة مشعة تمتلك فى داخلها طاقة كامنة ومن ثم فإن هذه الطاقة هي التي تتحرر – **الثانية** : وهى أن الذرة المشعة عبارة

عن جهاز آلى تعمل باستمرار على الحصول عن هذه الطاقـــة مـــن البيئيـــة المحيطة بها ثم تقوم بإخراجها مرة ثانية] – وعليه فقد كانت هذه هـــي أهـــم الأراء المطروحة فى ذلك الوقت حول الذرة والطاقة.

فى الحقيقة أن الاحتمال الثاني الذي كان يقول أن العناصر المشعـــة لها خاصية استخلاص الطاقة من البيئة المحيطة بـــها أو مـــن الإشعاعـــات الخارجية [حيث أفترض أن الطاقة كانت تستعمل لطرد دقائق ألفا وبيتا] لقى رضى وقبول من بعض العلماء في ذلك الوقت وخاصة كروكس ولورد كيلفين وذلك على الرغم من أن هذا الاحتمال كان على تناقض كبـير مـــع القـــانون الثاني للديناميكا الحرارية.

ولكن هذا الاحتمال لم يستمر طويلاً وخاصة بعد ظهور اقتراح بديل له والذي كان يتمثل فى الآتي "أن الطاقة المشعة تمثل الطاقة الداخلية للـــذرة نفسها"، ولقد تبين بعد ذلك أن هذا الإقتراح لقى ترحيباً كبيراً من بيوكوريل ثم بعد ذلك حاز على رضى كبير من كل من رذرفورد وسودى وبالتـــالى لقـــى قبولاً عاماً على كافة المستويات العلمية.

وبناءً على هذا الإقتراح الأخير تعددت المناقشات والأبحاث خاصـــة حول التغيرات الإشعاعية للطاقة – ومن ثم فقد توصل رذرفورد وسودى إلى اقتراحات جديدة وهى أن جميع الذرات [وليس فقط الذرات المشعـــة] تمتلـــك كميات كبيرة من الطاقة ، وعليه فقد كتبا فى عام ١٩٠٣م الآتي :

[أن الطاقة الكامنة فى الذرة لابد وأن تكون هائلة من حيث الكمية وذلك فـــى التفاعلات النووية عنها فى التفاعلات الكيميائية العادية – ويضيف رذرفورد

وسودى فيقولان : أننا الآن نجد أن جميع العناصر المشعة لا تختلف عن العناصر الأخرى من حيث سلوكها الكيميائي والفيزيائي على السواء وبناءاً على ذلك فإنه لا يوجد سبب لافتراض أن هذا المخزون الهائل من الطاقة يمتلك فقط بواسطة العناصر المشعة ، ومن ثم فإننا نجد أن الطاقة النووية بصفة عامة متشابهة فى جميع العناصر حيث أنها على درجة هائلة فى كل عنصر وذلك على الرغم من عدم حدوث أى تحويلات لهذه العناصر عن طريق النشاط الإشعاعي].

ولكن الدراسات والأبحاث حول هذا الموضوع لم تتوقف عند هذا الحد بل كانت قائمة على قدر وساق – ففى عام ١٩٠٤م قام عالم الفلك والفيزياء الرياضية الإنجليزية الشهير "جينس" بوضع تفسير جديد للطاقة المشعة والذي تبين بعد ذلك أنه كان بمثابة نقطة البداية الحقيقية وفاتحة عهد جديد في مجال الطاقة النووية وهنا يقول جينس :

لا شك أن النتائج المترتبة عن إختفاء كمية محدودة من الكتلة وأيضاً عملية النشاط الإشعاعي لهما إرتباط شديد بالطاقة الخارجة أو المتحررة، ولقد كان جينس يتصور أن الطاقة الخارجة لها إرتباط كبير بالنشاط الإشعاعي الناتج من الإفناء المتبادل للشحنات الموجبة والسالبة فى الذرة، ومن ثم فقد أصبح مقبولاً بعد ذلك أن عملية الإفناء للمادة تنتج طاقة ولكن فى نفس الوقت كان واضحاً أنْ الطاقه الاشعاعيه لا تحدث بنفس الطريقه.

في الواقع أن إيضاح وتفسير كل من الطاقه الاشعاعيه والطاقه الذرية بصفه عامه لم يتم بصوره شامله إلا عن طريق معادلة اينشتين في

عام ١٩٠٥م الذي حدد العلاقة بين الكتله والطاقـــه [سـنتحدث عـن ذلـك بالتفصيل فيما بعد]، وهنا يرى اينشتين ان الطاقه المصاحبه للتغير الاشعاعي تتعادل مع الاختلاف بين كتلة النواه الأم من ناحيه وكتلة النواه الابنه مضافـاً اليها الدقائق المتحرر.

أن اينشتين لم يهتم في الحقيقة بالدراسة التفصيلية للطاقه الإشعاعية في النشرات والتقارير التي كتبها آلا انه بعد أن أعلن عن معادلته الشهيره من عام ١٩٠٥ م قال آن كل ما هو يتعلق بالطاقـــه االاشعاعيـه موجـود فـي الدراسات الخاصه بالنشاط الاشعاعي، وبعد ٨ سنوات من صـــدور معادلـة اينشتين حدث تطوراً جديداً وذلك عندما إقترح سـوين الألمـاني فـي عـام ١٩١٣م الآتي :

إنه على الرغم من أن معادلة اينشتين على درجة عالية مـن الدقـة بالنسبة لتحديد الأوزان الذرية للعناصر المشعـة فإننـا نجـد أن التـأثيرات المتوقعة من ذلك صغيرة للغاية ومن ثم فإنه يصعب ملاحظة ذلك خاصة أثناء العمل مع المواد المشعة، ولكن هنا نود أن نشير إلى الحقيقة الهامة التاليـــة: وهي إنه على الرغم من عدم القدرة على التأكد التام من العلاقة الموجودة بين الكتلة والطاقة فى ذلك الوقت إلا أنه كان واضحاً أن هناك ثمة اتفـــاق بيـن العلماء حول هذا الموضوع، وفي هذا الصـدد يقـول ميليكـان فـى كتابـة "الإلكترون" أنه بعد فترة ليست بالطويلة على نشر معادلة اينشتين فـي عـام ١٩٠٥م كانت المناقشات والدراسات والأبحاث قائمة بطريقة غير عادية فـي معامل الفيزياء خاصة حول الأجزاء المجمعة لتكويـــن النـواة أو الاندمـاج

النووى كمصدر للطاقة، ويقول ميليكان أن أهم هذه المناقشات هو ما كان يتعلق بـ "هاركينس" و "ويلسون".من الولايات المتحدة فى عام ١٩١٥ اللذين إفترضا [أن إفتراضهما لم يكن صحيحاً تماماً] أن جميع الذرات بنيت من الهيدروجين، ولقد علقا على ذلك من خلال المثال التالى : أنه من الأعداد المتساوية للبروتونات والنيترونات يتم الحصول على استقرار الذرة الذي يصاحبه فقد فى الكتلة يتناسب مع كمية الطاقة الخارجة.

وعلى الرغم من الدراسات والأبحاث المكثفة التي تمت فى تلك الفترة والتي كانت لها تأثير كبير فى مجال الطاقة النووية إلا أننا نجد أن تاريخ ومستقبل البشرية توقف على الحدث والاكتشاف الهائل فى بداية الثلاثينات من هذا القرن وذلك عندما إستخدمت طرق مختلفة من أجل زيادة طاقة الدقائق التي أدت إلى الاكتشاف الهام للتفاعلات النووية المصحوب بخروج كميات كبيرة من الطاقة، وبالطبع هذه العمليات تختلف كثيراً عن ظاهرة النشاط الإشعاعي وذلك لأنه يمكن التحكم فيها كما أنها فى نفس الوقت لا تتوقف على عناصر محددة ذات عدد كتلة كبير أو صغير، ولكن التفاعلات النووية لم تخلو أيضاً من بعض المجادلات، وهنا يقول بعض العلماء أن التفاعلات النووية الناتجة عن تعجيل الدقائق أعطت أقل مما كان متوقعاً للاستعمال العملي للطاقة النووية، ويرجع السبب فى هذا النقص إلى ما أعلنه رذرفورد فى محاضراته التي ألقاها ونشرها بعد ذلك فى عام ١٩٣٧ حول تحديث كيمياء القرون الوسطى – فيقول رذرفورد :

إن الطاقة الناتجة عن تحول الذرة إلى ليثيوم بواسطة الديوترونـــات وهى ٢٢,٥ مليون إلكترون فولت هي فى الحقيقة ضعف الطاقة الخارجة أثناء إنحلال أى ذرة مشعة وهذا أمر متفق عليه - ونظراً لأن عملية التحول تتـــم بواسطة ديوترون ذو طاقة تقدر بحوالى ٢٠٠٠٠ إلكترون فولت فإنه يمكننـــا الحصول على طاقة كبيرة فى العملية الفردية - وهذا أيضاً أمر متفق عليه.

ويضيف رذرفورد : ولكن من الناحية الأخرى فإننا نلاحظ أنه يوجد فقط حوالى واحد ديوترون فى كل ١٠^٨ ديترون مقذوف يكون مؤثـــراً أو ذو فعالية فى إخراج الطاقة الناتجة عن التحول - لهذا فإنه يمكـــن أن نقـــول أن هناك كمية كبيرة من الطاقة تستخدم فى قذف الديوترونات وهى فـــى الواقـــع أكثر من كمية الطاقة الناتجة عن التحول العنصرى - ومن ثم فإن المحصلـــة النهائية للحصول على طاقة يستفاد منها بواسطة المعالجات الصناعية الناتجة عن تحول العناصر ليست مبشرة بمستقبل باهر.

فى الحقيقة أن تعليق رذرفورد على التفاعلات النووية يـــدل علـــى الإهتمام الشديد بهذا الاكتشاف الجديد والذي كان مجال للمناقشـــة والدراسـة والتجارب ليل نهار فى هذه الفترة بالتحديد وذلك من أجل الحصـــول علـــى الطاقة بطريقة عملية ومربحة في نفس الوقت - وهنا نذكر على سبيل المثال عالم الفيزياء "لورانس" الذي قال من خلال محاضراته التي إلقاها فـــى عـــام ١٩٣٨م حول "الجديد والقديم فى الذرة" بالنسبة لإســـتغلال الطاقـــة النوويـــة الآتى: إن عملية تحرير الطاقة من جزئيات الذرة على أساس عملى ومربـــح هو فى الواقع سؤال هام لكل فرد حيث أصبح العديد من العلمـــاء والبـــاحثين

يناقشونه الآن، ويضيف لورانس : أنه حتى ذلك الوقت (١٩٣٨م) كلنا يعرف أن المادة يمكن تحويلها إلى طاقة ، كما نعرف أيضاً أن تحطيم المادة النووية من أجل الحصول على الطاقة عمل هام للغاية ولابد منه، وهنا أود أن أقـــول أن الأساس الذي بنى عليه أن الكتلة والطاقة متعادلان هو فى الواقع الحجـــر الأساسى لتطوير النظرية الفيزيقية.

مما سبق يتضح لنا أن الطاقة كانت الشغل الشاغل للعلماء فى هـــذه المرحلة وهذا ما سنتحدث عنه .

الإنشطار النووى كمصدر للطاقة :

قبل أوائل عام ١٩٣٩م كانت التصورات السائدة كما أشرنا من قبـــل هي تحويل الكتلة إلى طاقة وذلك بغرض إستعمالها بطريقة عملية ومربحة فى نفس الوقت ولكن الدلائل جميعها لم تشر إلى ذلك وعليه فقد ظلـــت قضيـــة الطاقة مجال بحث وتجارب العلماء والباحثين إلى أن تم التوصل أخيراً إلـــى إكتشاف الإنشطار النووى والذي يعد محول تاريخ البشرية فى العالم الحديث، وكما أشرنا فى حديثنا من قبل أنه يمكن إنشطار اليورانيـــوم ٢٣٥ بواسـطة نيوترون حرارى ذو طاقة محدودة للغاية لا تزيد عن ٠,٠٣ إلكترون فولـــت وهذا الإنشطار يعمل على خروج طاقة حرارية تقدر بحوالـــى ٢٠٠ مليـون إلكترون فولت أى أنها أكبر بلايين المرات من الطاقة الناتجة عـــن طريـق إختراق جسيم بالصدفة للنواة .

وهنا نود أن نشير إلى أن أهمية الإنشطار النووى لا تتوقف عند هذا الحد بل أنها فى الحقيقة تتعداها إلى نقطة بالغة الأهميـــة وهـــى أن عمليـــة

الإنشطار النووى هذه يصاحبها دائماً خروج نيوترونات حرة بالتبعيـــة لـــها القدرة على إحداث إنشطار آخر لنويات اليورانيوم ٢٣٥ المنشطـــرة أيضـــاً والتي هي أيضاً تنتج نيوترونات حرة أكثر فى العدد عن سابقتها بحيث يمكنها بالتالى حدوث إنشطار للكتل الأصغر المنشطـــرة وهكــذا تســتمر العمليــة الإنشطارية بطريقة تلقائية.

وبناءً على ذلك فإن نيوترون واحد يمكن أن يبدأ فى عمـــل سلســلة كبيرة من الإنشطارات النووية مما يضاعف من عـــدد النويـــات أو الشظايـــا المنشطرة بمعدل منقطع النظير – ويمكن أن نوضح ذلك فى الصورة التالية :

نفترض أن كل نواة منشطرة من اليورانيوم ٢٣٥ تخرج ٢ نيوترون، وكل واحد من هذين النيوترونين يقوم بإحداث أنشطار أخر مـــع خـــروج ٢ نيوترون أيضاً فهنا يوجد عدد ٤ نيوترونات متحررة – وإذا إستطاعت هـــذه النيوترونات الأربعة إحداث إنشطار لأربعة نويات منشطرة مـــن اليورانيـــوم ٢٣٥ فإننا سنحصل هنا على ٨ بيوترونات جديدة – وبناءً على ذلـــك فـــإن عملية الإنشطار النووى تستمر مكونة سلسلة من الإنشطارات وخروج إعداداً مضاعفة من النيوترونات حتى لا يصبح هناك أيه نويات منشطرة متبقية من الوقود النووى المستخدم.

مما سبق يتضح لنا أن عملية الإنشطار النووى تختلف كثـــيراً عـــن التفاعلات النووية العرضية – حيث أننا نجد أنه فى حالات التفاعلات النووية تقوم الدقيقة العرضية بإحداث تحول واحد فقط للنـــواة، ولكـــن فـــى حالـــة الإنشطار النووى نجد أن نيوترون واحد فقط يؤدى إلى إنشطار جميع أنويـــة

اليورانيوم ٢٣٥ - وهنا يرى بعض العلماء أن النيوترون الأصلى يشبه إلـى حد كبير عود ثقاب (كبريت) فى مادة سريعة القابلية للإشتعال ومن ثم فـإن حرارة لهب الكبريت تعمل على إحتراق جزء من المادة مما ينتج عنه حرارة تحث بدورها على إحتراق الجزء الباقى حتى تستهلك المادة جميعها وعليـه فتخرج الطاقة المتحررة الناتجة عن هذا الإحتراق ، ولكن الإختلاف هنا هو : أن الأحتراق ليس إلا عملية تسلسل حرارى فقط أما فـى حالـة الإنشطـار النووى فهى عبارة عن سلسلة تستمر بواسطة النيوترونات حتى يتم إستهلاك المادة المنشطرة جميعها.

وهنا نود أن نشير إلى بعض النقاط الهامة التي يهتم بها المهندسـين أكثر من الفيزيائيين وهى المتمثلة فى القوانين التالية :

١ مليون إلكترون فولت تعادل ١,٦ × ١٠ ^-٥^ أرج

وبما أن الطاقة المتحررة من كل إنشطار مفرد تعادل بالتقريب ٢٠٠ مليون إلكـترون فولـت. إذن فـهى تسـاوى ٣,٢٠×١٠ ^-٤^ أرج حيـث أن ٣,٢٠× ١٠ ^-١١^ هي وات/ثانية* وعليه فإنه يتطلب حوالى ٣,١×١٠^١٠^ كتلـة منشطرة حتى يتم تحرير طاقة تقدر بـ "١" واحد وات فى الثانية .

---

*الوات : هو وحدة طاقة بمعنى أنه معدل إنتاج أو إستهلاك الطاقة .

وهو يساوى ١٠ ^٧^ أرج لكل ثانية .

١ كيلو وات = ١٠٠٠ وات .

قوة حصان = ٧٤٦ وات .

وحدة حرارية إنجليزية = ٠,٢٩٣ وات / ساعة .

بمعنى آخر : أن معدل الإنشطارات التي تقدر بـ ٣,١ × ١٠^١٠ في الثانية تنتج واحد وات من الطاقة المستخدمة كحرارة.

أما في حالة ضرب الطاقة المتحررة لكل إنشطار × عدد أفوجادرو

[عدد أفوجادرو هو ٦,٠٢×١٠^٢٣]

فإن الناتج هو ٦,٠٢ × ١٠^٢٣ × ٣.٢٠ × ١٠^-٤ = ١,٩٣ × ١٠^٢٠ أرج .

أو ١,٩٣ × ١٠^١٣ وات / ثانية

أى أن الناتج النهائى هو الطاقة المتحررة عن إنشطار واحد جرام ذرى.

[**ملحوظة** : الجرام الذرى يحتوى على ٦,٠٢ × ١٠^٢٣ ذرات فردية أو نويات فردية وهو ما يطلق عليه عدد أفوجادرو].

أما فى حالة تجاهل الفروق الصغيرة فى الكتلة بين كل من اليورانيوم ٢٣٥، واليورانيوم ٢٣٣ والبلوتونيوم ٢٣٩ فإنه يترتب على ذلك أن الإنشطار النهائى لواحد جرام ذرى يخرج طاقة تقدر بحوالى ٨,٢×١٠^١٧ أرج.

أو ٨,٢ × ١٠^١٠ وات لكل ثانية .

أو ٨,٢ × ١٠^٧ كيلو وات لكل ثانية .

أو ٢,٣ × ١٠^٤ كيلو وات لكل ساعة .

أو ٠,٩٦ × ١٠^٣ كيلو وات لكل يوم .

وعليه فإنه يتضح لنا أن إنتاج الطاقة للجرام الواحد المنشطر من اليورانيوم ٢٣٥ أو اليورانيوم ٢٣٣ أو البلوتونيوم ٢٣٩ في اليوم سوف يعطى:

٠,٩٦ × ١٠^٣ كيلو وات أو حوالى ١٠٠٠ كيلو وات

أى ١ ميجاوات يومياً [حيث أن ١ ميجاوات = ١٠٠٠ كيلو وات]

أما فى حالة الحصول على نفس هذه الكمية من الطاقة عن طريـــق إحتراق المواد (الطرق الكيمائية) فإنها تتطلب أكثر من ٣ طن من الفحـــم أو حوالى ٦٠٠ جالون من وقود البترول وذلك عن كل يوم، وهذه المقارنة تبين القيمة الهائلة من الطاقة الناتجة عن الإنشطار النووى عنها مـــن التفـــاعلات الكيميائية.

الفصل السادس

التفاعل النووى المتسلسل والقنبلة النووية

إن التفاعل النووى المتسلسل الناتج عن إنشطار اليورانيوم بالنيوترونات لقى إهتماماً كبيرا على كافة المستويات العلمية فى العالم وأيضاً السياسية بعد ذلك. أما بالنسبة لعلماء الفيزياء فقد لقى إهتماماً شديداً فى مارس ١٩٣٩م من كل من فون هاليان ، جوليوت وكوارسكى فى فرنسا، أيضاً فيرمى الإمريكى ثم سزيلارد المجرى الأصل والإنجليزى الجنسية، وبالطبع العديد من العلماء الآخرين فى كل من أوربا والولايات المتحدة الأمريكية.

ولقد كانت أهم تعليقات العلماء فى هذا المجال تتركز حول خروج الطاقة النووية الناتجة عن الإنشطار النووى وذلك بأنها تعد إنجاز عملى وإقتصادى وأيضاً حلاً لمشكلة الطاقة على المدى الطويل، [وهنا نود أن نشير إلى نقطة هامة يتخبط فيها الكثير من الكتاب والباحثين حول أى المصطلحات هو الأصح " الطاقة الذرية أم الطاقة النووية ". فى الواقع أنه نظراً لأن طاقة الإنشطار ناتجة عن إنخفاض الكتلة النووية الناتجة عن إعادة تنسيق البروتونات والنيوترونات لذا فإنه من الأصح أن يطلق عليها الطاقة النووية. كما أن مصطلح الطاقة الذرية هو تعبير تاريخى قديم لم يتحرر منه البعض حتى اليوم وأنه غير دقيق]. وعلى الرغم من أن موضوع الطاقة النووية كان

موضوع الساعة فى ذلك الوقت إلا أنه لقى بعض النقد والـــذى تمثـل فـــى خطورة إستخراج هذه النوعية من الطاقة.

ويقول بعض العلماء فى ذلك الوقت أن الطاقة الناتجة عن الإنشطار تخرج فى فاصل زمنى قصير جداً "كما هو معـــروف" ، وبمـــا أن التفـــاعل النووى سريع جداً ، إذن فإن عملية الإنشطار النووى المتسلسل سوف تـــؤدى بلا أدنى شك إلى حدوث إنفجار رهيب فى زمن وجيز مما يؤدى بالتبعية إلى حدوث كارثة.

وقبل أن نتطرق إلى مزيد من التفاصيل وجب علينا أن نشـــير إلـــى أول من فكر فى حدوث عملية الإنفجار النووى :

بالرجوع إلى عام ١٩٣٤م وجد أن عالم الفيزياء المجـــرى الأصـــل "سزيلارد" الذي كان يقيم فى إنجلترا فى ذلك الوقت إستطاع التوصـــل إلـــى فكرة التفاعل النووى المتسلسل وذلك بإستخدام النيوترون لإنشطـــار عنصـــر البريليوم وخروج ٢ نيوترون يصحبها حرارة. فى عام ١٩٣٥م قام سزيلارد بتسجيل هذا الإختراع فى إنجلترا ولكن أكتشف بعد ذلك أن جزءاً مـــن هـــذا الإختراع إعتبر سرياً ومن ثم خصص للحكومة الإنجليزية.

ويرجع السبب فى سرية هذا الجزء إلى أن سزيلارد كان على يقين من أن التفاعل النووى المتسلسل أمر من الممكن تحقيقه ، ومن ثم إذا إستعمل بطريقة الخطأ فسوف يؤدى إلى إنفجار هائل وإحداث كارثة .

مما سبق يتضح لنا أن عملية الإنشطار المتسلسل إعتبرت الإساس في فكرة بناء القنبلة النووية.

في الحقيقة أن بدايات عام ١٩٣٩م شاهدت تشكك بعض العلماء في إمكانية القيام والحصول على التفاعل النووى المتسلسل ، بينما البعض الآخر كان يعتقد في إمكانية حدوثه ولكن دون حدوث إنفجار أو كارثة.

بالإضافة إلى ذلك كان يعتقد بعض العلماء أنه عند إذابة ملح اليورانيوم في الماء فإن النيوترونات السريعة التي تخرج عادة من عملية الإنشطار النووى تنخفض سرعتها ومن ثم فإن معدل توالد التفاعل المتسلسل ينخفض وبالتالى فإن فرصة حدوث أى إنفجار تتضائل. إلا أن كل من "أدلر" و "فون هالبان" ، ثم "بيرين" في فرنسا أضافوا إلى ما سبق شيئاً اخر – فلقد قالوا أنه بالإضافة إلى إذابة ملح اليورانيوم في الماء يمكن إدخال مادة أخرى على هذا المحلول مثل "كادميوم" التي لها قوة كبيرة على إمتصاص النيوترونات البطيئة مما يؤدى في النهاية إلى حدوث تحكم في عملية التفاعلات النووية المتسلسلة. ولكن يؤخذ على هذه الطريقة أنه في حالة إزالة كمية كبيرة من النيوترونات فإن عملية حدوث التفاعل النووى المتسلسل سوف تتوقف.

في الواقع أن معظم الأفكار التي نوقشت في ذلك الوقت كانت جميعاً عبارة عن تصورات فكرية غير قائمة على التجارب المعملية، وعليه فقد روعى أنه لابد من إجراء التجارب حتى يتسنى إتخاذ قرار نهائى في هذا

الشأن، وبالفعل إجريت التجارب فى معامل عديدة وقد كان أهم هذه النتـــائج هي :

أنه من الممكن الحصول على التفاعل النووى المتسلسل وأيضاً مـــن الممكن تجنب الإنفجارت المدمرة وذلك عن طريق استخدام الماء أو أى مهدئ نووى أخر يحد من سرعة النيوترونات، هذا بالإضافة إلى وجود مـــادة ذات قطاع عرضى للإستيلاء على النيوترونات البطيئة. وعلى الرغم مـــن هـذه النتائج الهامة إلا أنه لم يعلن بصفة نهائية عن أن توالد سلســـلة التفــاعلات الإنشطارية قد تم الإعتراف بها من قبل جميع العلمـــاء والمتخصصيــن فـــى قطاع المجال النووى، ولكن فى منتصف عام ١٩٤٠م كان قد تم التوصل إلى معلومات كافية من خلال التجارب التي إجريت فى تلك الفترة والتي بينت أنه من الممكن الحصول على سلسلة الإنشطار النووى وإيضاً التحكم فيـــها عــن طريق إبطاء سرعة النيوترونات . فى نفس الوقت وجد أنه من الممكن بنـــاء القنبلة الذرية وذلك عن طريق زيادة سرعة النيوتـــرون المقـــذوف لإحـــداث سلسلة التفاعلات الإنشطارية وقد لاقت هذه الطريقة إهتماماً كبيراً فى جميـــع الأوساط العلمية والسياسية من أجل بناء القنبلة النووية .

إعطاء فكرة مبسطة حول كمية الحرارة الهائلة المنبعثة من القنبلة النووية :

علاوة على المعلومات التي أشرنا إليها فى صفحة ١٢٦ نضيف إليها الآتي : لقد وجد أن إنشطار جميع النويات فى ١ كيلو جرام [١٠٠٠ جـــرام] من المادة القابلة للإنشطار (الوقود الذرى) سوف تنتج طاقة تقـــدر بحوالـــى $٨,٢ \times ١٠^{٢٠}$ أرج.

وهنا نشير إلى أنه فى أى إنفجار نووى وجـــد أن طاقـــة فوتونـــات إشعاع جاما والنيوترونات (تفقد هذه الطاقة عادة عن طريـــق هـــروب هـــذه الدقائق) وأيضاً الطاقة المنحلة عن نواتج الإنشطار [وهى عادة مـــا تتحـــرر خلال فترة من الوقت] لن تكون جميعاً موجودة أو متوافـــرة بقـــدر ملحـــوظ، ونظراً لأن الطاقة الإجمالية الناتجة عن الإنشطار النووى تقدر بحوالى ٢٠٣ مليون إلكترون فولت، فإنه نتيجة للفقد السابق الإشارة إليه يوجد فقط من هذه الطاقة حوالى ١٦٧ مليون إلكترون فولت وهى الطاقـــة الكينيتيـــة للشظايـــا المنشطرة الموزعة على الإنفجار النووى .

أى أننا نحصل فى النهاية على طاقة متفجرة بعد الفقد الذي أشرنـــا إليه من قبل وذلك من الوقود الذرى (١كيلو جرام) تقدر بالآتى :

٧,٦ × ١٠ ^١٣^ أرج وهى تعادل ١,٦ × ١٠ ^١٣^ كالورى

وعند إجراء المقارنة بين الطاقة الناتجة عند التفجير الكيمـــاوى والتفجـــير النووى نلاحظ الأتى :

لقد وجد أن الطاقة الناتجة عن التفجير الكيماوى لمادة تـــى إن تـــى T.N.T. تقدر بحوالى ١٠^٩^ كالورى عن كل طن [ملحوظة : مـــادة T.N.T. هى إختصار للمتفجر الكيميائى الشائع ٢، ٤، ٦ ثلاثى النيتروتولوين]. بينمـــا نجد أنه فى كمية الوقود الذرى المقدرة بـــ ١كيلوجرام فإننا نحصل على طاقة عند حدوث عملية الإنفجار تقدر بحوالى ١,٦×١٠^١٣^ كالورى. أى ان ١ كيلو جرام من الوقود النووى لها قوة تعادل ١٦ ألف طن من مادة الـــ تى إن تـــى أو ١٦ كيلوتون [حيث أن ١٠٠٠ طن من تى إن تى تعادل ١ كيلو تون].

وبالإضافة الى ما سبق فقد لوحظ أن أحـــد المتطلبــات الأساســية لإحداث الإنفجار هو ان الطاقة النووية تتحرر فى فاصل زمنى قصير للغاية وهذا ما سنقوم بالتعليق عنه الآن بالإضافة الى التسلسل الإنشطارى :

ولقد تبين لنا مما سبق ان كل عملية إنشطار مفردة يعقبها خروج ٢ إلى ٣ نيترون ولكن وجد أنهم جميعا لا يقومون بإحداث عمليـــة الإنشطــار التالية ويرجع السبب فى ذلك الى أن بعض هـــذه النيترونـــات تــهرب دون إحداث عملية الإنشطار والبعض الآخر يتم إزالتـــه فــى التفــاعلات الغــير إنشطارية. وعليه فإذا إفترضنا أن النواه إمتصت نيوتـــرون ممـــا ادى الـــى إنقسامها فإنه نتيجة لذلك يصبح عدد النيوترونات المتحررة " أ "، أمــا عــدد النيوترونات المفقودة فتكون "ب" وهذا ما يحدث فى كل عملية إنشطار أى ان عدد النيترونات الموجودة لإحداث التسلسل الإنشطارى تقدر بحوالى "أ – ب".

ولكن إذا إفترضنا أن عدد النيترونات الحاضرة فى أى فترة عاجلـــة نتيجة العملية الإنشطارية تقدر بـــ"جـ" فانه يمكننا الحصول عدد النيوترونات الناتجة عن كل جيل منشطر كالآتى: جـ (أ–ب)

ونظرا لان الزيادة فى عدد النيترونات لكل جيل تقدر بحوالى :

جـ (أ–ب) – جـ أو جـ (أ–ب–١)

فانه من الممكن وضعها فى هذة الصورة المبســطة " أ – ب – ١ " وهى التى تدل على الزيادة فى عدد النيوترونات فى كـــل انشطـــار نـــووى. ولسهولة إستخدامها فى المعادلات النووية فقد روعى وضعها فـــى الصـــورة التالية:

أ –ب – ١ = " د "

وبالاضافة الى ماسبق اذا افترضنا ان "و" هو الوقت الذى يمر بين التفاعلات المتتالية للاجيال المنشطرة، فإننا بالتالى سنحصل على معدل زيادة عدد النيوترونات فى السلسلة الانشطارية كالاتى :

معدل زيادة النيوترون = جـ × $\frac{\text{"أ - ب - ١"}}{\text{و}}$ ⟵ (١)

أو = $\frac{\text{جـ × د}}{\text{و}}$ وهذا ما يحدد معدل زيادة النيوترونات فى عملية التسلسل الانشطارى.

ويمكننا حل المعادلة (١) عن طريق الاتى :

كما اشرنا من قبل ان "جـ" هى عدد النيوترونات الحاضرة وهى فى الواقع وجدت فى وقت متاخر يقدر بـ "ع".

أما عدد النيوترونات التى ظهرت فى اوائل عملية الانشطار فيمكننا هنا تقديرها بالمقدار "جـ١" اما عدد الاجيال المنشطرة فيمكن الحصول عليها من الأتى $\frac{\text{ع}}{\text{و}}$ ولسهولة كتابتها فاننا نرمز لها بالرمز " ن ".

وبمعرفة " د " وهى الزيادة فى عدد النيوترونات فى كل انشطار ، وايضا بمعرفة " هـ " وهى عدد النويات المنشطرة فى الوقود النووى ، فانه يمكننا وضع المعادلة التالية :

جـ = (جـ × هـ)$^{\text{دن}}$ ⟵ (٢)

حيث جـ١ عدد النيوترونات الموجودة فى بداية الانشطار

د الزيادة فى عدد النيوترونات لكل جيل

ن عدد الاجيال المنشطرة

هـ عدد النويات المنشطرة من الوقود الذرى

ومن خلال المعادلة (٢) يمكننا معرفة عدد النيوترونات فـــى جميـــع الاجيال المنشطرة للوقود الـــذرى او متطالبـــات الاجيـــال المنشطـــرة مـــن النيوترونات اللازمة لها .

ولكى نتفهم ما سبق بإيضاح اكثر فاننا نطرح المثال التالى :

بالنسبة لليورانيوم ٢٣٥ ، نفترض ان " أ " هو عـــدد النيوترونـــات المتحررة فى كل انشطار والتى يصل عددها الى ٢,٥ نيوترون، وان "ب" هى عدد النيوترونات المفقودة والتى تقدر تقريباً بحوالى $\frac{١}{٢}$ نيوترون.

إذن فان "د" وهى الزيادة فى عدد النيوترونات فـــى كـــل انشطـــار تساوى "أ-ب-١ " ونفترض انها اقرب الى الوحدة.

وعليه فيمكننا الحصول على عدد النيوترونات فى نهاية الانشطـــار من المعادلة التالية :

$$ح = (ح_{١} \times هـ)^{ن} \longleftarrow (٣)$$

حيث أن أ-ب-١ = د = ١

وبما ان ١ جرام ذرى (الجرام الذرى هو عبارة عن ٢٤٠ جـــرام) من اليورانيوم ٢٣٥ او ٢٣٣ او البلوتونيوم ٢٣٩ يحتوى علـــى ٦×١٠^{٢٣} نوية او كتلة ذرية صغيرة ؛ لذا فان الانشطار الكامل له يتطلب عـــددا مـــن النيوترونات يساوى = $(ج_{١} \times هـ)^{ن}$

وعليه فقد وجد ان الانشطار الكامل لـــ ١ كيلو جـــرام مـــن المـــواد المنشطرة (الوقود الذرى) تتطلب حوالى $٢,٥ \times ١٠^{٢٤}$ نيوترون. حيث تبـــدا عملية الانشطار المتسلسل هذه باستخدام نيوترون واحد فقط وهو النيوتـــرون البادى "$ج_{١}$"، وعليه فان عدد النيوترونات الكلية هى $٢,٥ \times ١٠^{٢٤}$ وهـــى التى يمكن الوصول اليها بعد حوالى ٥٦ جيل منشطر، وعلينا ان نلاحظ هنـــا

انه فى الحالات التى يتم فيها الانفجار النووى فان الوقت اللازم لانشطار جيل من هذه السلسلة يقدر حوالى $١٠^{-٨}$ ثانية أى حوالى ٠,٠١ ميكـــرو ثانيـــة (ميكرو ثانية = $١٠^{-٦}$ ثانية). أى ان ٥٦ جيل منشطر تحتاج لوقت يقـــــدر بحوالى ½ ميكروثانية، وهذا يعنى ان نصف من مليون من الثانيـــــة تكفـــى لإحداث عملية توالد السلسلة الانشطارية التى تبدا بواحد نيوترون يتسبب فى إنشطار جميع النويات الموجودة فى واحد كيلو جـــرام مـــن المـــادة القابلـــة للانشطار (الوقود الذرى). وكما اشرنا من قبل الى ان الطاقة الناتجـــة عـــن انفجار واجد كيلو جرام من الوقود النووى تعادل تقريبا حوالى ١٦ كيلو تون من مادة T.N.T. هذا بالاضافة الى ان تحريرها فى زمن وجيز للغاية يؤدى الى حدوث انفجار هائل للغاية .

وعلاوة على ما تقدم نود ان نشير الى نقطة هامة وهى المتمثلة فى الاتى :

لقد وجد من خلال التجارب التى تمت فى هـــذا القطـــاع ان معظـــم الطاقة الناتجة عن الانشطار تولدت بطريقة اسرع من التى قمنا بحســـاباتها قبلا، ولقد تبين هذا عندما وجد ان عدد النيوترونات الحاضرة فـــى التسلســـل الانشطارى (ايضا الطاقة الناتجة عن الانشطار) تزداد بمعدل $\frac{١}{١٠}$ كل ٢,٣ جيل وبناء على هذه الحقيقة تم التوصل الي معرفة عدد النيوترونات كالاتي:

$$\text{ح} = (\text{ح}_{١} \times \text{هـ})^{\frac{\text{ن}}{٢,٣}} = (\text{ح} \times ١٠)^{\frac{\text{ن}}{٢,٣}}$$

وبناء على المعادلة (٤) فقد لوحظ ان التسلسل الانشطارى يتطلـــب اكثر من ٥٦ جيل لإحداث الانشطار الكامل لواحد كيلو جـــرام مـــن الوقـــود النووى . اما بالنسبة لعشرة كيلو جرام من الوقود النووى فانها تمر بسلســـلة الانشطار النووى الكامل بعد ان تصل الى الجيل رقم ٥٨,٥.

وهكذا فان ال١٠٠ كيلو جرام وقود نووى تتطلب عدد من الاجيـــال اقل قليلا من ٦٠,١ وهكذا.

ولكن بالاضافة الى النواتج السابقة فقد وجد انـــه تحـت الاحـوال المناسبة لعملية الانشطار النووى المتسلسل من الممكن الحصول على طاقتـة الناتجة عن الانفجار فى اقل من ميكرو ثانية وذلك بغض النظر تمامـا عـن كمية الوقود النووى المستخدمة فى الانفجار . ولقد وجد من خلال التجـارب وذلك فى جميع الحالات ان الجزء الاكبر من الطاقة المتحررة يحـدث فـى الاجيال الاخيرة بصفة دائمة - أى ان ٩٩,٩ % من الطاقة الناتجة عن سلسلة الانشطار النووى يتم انتاجها اثناء الـ ٤,٦ جيل الاخيرة وحوالى ٩٠ % تنتج فى الـ ٢,٣ جيل الاخيرة، وهذا ما اردنا الاشارة اليـه بخصـوص الطاقـة الهائلة الناتجة عن الانفجار النووى .

المواد المستخدمة فى القنبلة النووية :

نظرا لانه كانت هناك افكار كثيرة حول كيفية اسـتخدام الانشطـار النووى كاساس لعمل اسلحة خاصة بالجيش لذا فقد قامت حكومـة الولايـات المتحدة الامريكية بتأسيس أول هيئة مستقلة ومتخصصة فـى ابريـل عـام ١٩٤٠م وذلك مع نشر أى تقارير حول نتائج التجارب التى تقوم بـها هـذه الهيئة فى قطاع التسليح النووى، وذلك على الرغم من ان الدلائـل جميعـها كانت تشير الى بناء القنبلة النووية.

وهذا نود ان نشير الى عالم الفيزياء الامريكى " فيرمى " الذى كـان يرأس مجموعة عمل فى فرقة مانهاتن التى تضـم مهندسـين مـن الجيـش الامريكى والتى يعتقد انها شكلت بصفة نهائية فى عام ١٩٤٢ م بغرض انتاج أول قنبلة نووية التى قاما بتصميمها آرثر هولى كومتبون و روبرت جوليوس أو بنهويمر.

وبالرجوع الى موضوع إنتاج القنبلة، فلقد كان معروفا بصفة عامة لدى الجميع ان اليورانيوم ٢٣٥ (وهو الموجود بنسبة لاتزيد عن ٠,٧٢ % او بمعدل جزء فى كل ١٣٩ جزء من ذرة اليورانيوم ٢٣٨) من الممكن ان ينشطر بالنيوترون البطيء والسريع على السواء وذلك على الرغم من ان عملية الانشطار النووى فى القطاع المستعرض صغيرة جدا وذلك عند قذفها بنيوترون سريع .

وبالاضافة الى ذلك وجد ان اغزر نظير لليورانيوم الذى عدد كتلته ٢٣٨ لا ينشطر بنيوترونات بطيئة ولكنه ينشطر عندما يتعرض لينوترون سريع . كما كان معروفا ايضا فى علم ١٩٤٠ م ان كل نواة يورانيوم ٢٣٥ تنشطر بنيوترون بطئ وينتج عن ذلك خروج ٢ الى ٣ نيوترون ذو طاقة عالية، وقد لوحظ هنا ان نسبة عالية من هذه النيوترونات تكون سريعة جدا وتنبعث بصورة تلقائية فى المعالجة الانشطارية اما النسبة المتبقية من النيوترونات فهى قليلة جدا وتقدر فى معظم الحالات بحوالى ٠,٦٥ % وهى تخرج متأخرة عن سابقتها.

ولقد لوحظ ان النيوترونات السريعة والبطيئة لها تأثير كبير على سريان عمليات الانشطار المتسلسل .

وبالاضافة الى ما سبق فقد ظهر فى نهاية عام ١٩٤٠م واوائل عام ١٩٤١ بعض المعلومات التى لاقت اهتماما كبيرا من العلماء والباحثين فى مجال الطاقة النووية - فقد عرف ان نواة اليورانيوم ٢٣٨ ذات قطاع عرضى محسوس ولها طنين أو تردد معين عند اقتناصها للنيوترونات البطيئة ذات الطاقة التى تتراوح ما بين ٦ الى ٢٠٠ الكترون فولت وذلك بغرض تكوين البلوتونيوم ٢٣٩ . ونتيجة لما سبق (على الرغم من ان اليورانيوم ٢٣٨ لا يعانى انشطارا عندما يتعرض لنيوترونات بطيئة) فان اليورانيوم ٢٣٨

يقتنص بعض النيوترونات داخل الجهاز المعد لعملية الانشطـــار ومـــن ثـــم يتداخل مع توالد السلسلة الانشطارية لليورانيوم ٢٣٥ .

ولقد لوحظ انه من المحتمل ان النيوترونات البطيئة تحدث انشطـــارا في اليورانيوم ٢٣٩ (لكن هذا النظير الصناعى ٢٣٩ له فترة نصـــف حيـــاة تقدر بحوالى ٢٣ر٥ دقيقة) الذى ينحل بخروج دقائق بيتا السالبة الى ان يتم تكوين البنتيونيم ٢٣٩، ولقد وجد ان النبتيونيم ٢٣٩ نشطاً أيضاً فى إنحـــلال دقائق بيتا (تقدر فترة نصف حياة النبتيونيوم ٢٣٩ بحوالى ٢,٣ يوم) حيـــث يتحول الى نظير صناعى ذو فترة نصف حياة طويلة وهـــو مـــايطلق عليـــه البلوتونيوم ٢٣٩ الذى يمكن انشطاره بنيوترون بطئ وسريع . (هنا نـــود ان نشير الى حقيقة هامة وهى ان البلوتونيوم ٢٣٩ الناتج عن اليورانيـــوم ٢٣٨ اكتشف بواسطة " نيرنر " الامريكى فى مايو عام ١٩٤٠) .

فى الواقع ان اليورانيـــوم ٢٣٨ المســـتخدم هنـــا للحصـــول علـــى البلوتونيوم ٢٣٩ ينشطر بنيوترون سريع ، ولكن وجـــد ان هـــذا النيوتـــرون السريع غير قادر على إحداث تسلسل انشطارى - وهذا ينطبق ايضـــا علـــى اليورانيوم الطبيعى. ولقد وجد من خلال التجارب ايضـــا ان الســـبب الـــهام للعمليات الغير انشطارية الناتجة عن اقتناص اليورانيوم ٢٣٨ للنيوترونـــات يرجع الى الاتى :

أنه نتيجة للتصادمات الغير مرنة مع نوية اليورانيـــوم فـــان طاقـــة النيوترونات المنشطرة تنخفض بسرعة حتى تصل الى اقل من واحد مليـــون الكترون فولت وعليه فان هذه النيوترونات لم تعد قـــادرة علـــى إحـــداث أى انشطار لليورانيوم ٢٣٨، ولكن من الناحية الاخرى وجد ان اليورانيوم ٢٣٥ قابل للانشطار بالنيوترونات ذات الطاقات المختلفة حتى اذا انخفضت طاقـــة النيوترون السريع الى اقل قدر ممكن من الطاقة ولذا فان السلسلة الانشطارية

تلعب دورها دون تعقيد شديد بالنسبة لطاقة النيوترون المقذوف . وبناء علــى ذلك فان اليورانيوم ٢٣٥ يستخدم فى بناء القنبلة النووية - ولكن هنا يتســائل البعض هل ان فقد النيوترونات له تــأثير علــى إحــداث عمليــة التسلســل الانشطارى ؟ فى الواقع انه يوجد فقد فى اعداد النيوترونــات عــن طريــق هروبها من السطح الخارجى , ولذا فقد وجد انه لابد من وجود كمية محــددة من المواد المنشطرة (الوقود الذرى) تعتبر ضرورية اذا كان مقدرا توالــد السلسلة الانشطارية واستمراريتها والتى تؤدى بالتبعيـة الى حدوث الانفجـار النووى - وعليه فقد وجد من خلال التجارب التى اجريت فى هذا الصدد ان هذه الكمية المحددة لابد وان تقع مابين واحد كيلو جرام و ١٠٠ كيلو جــرام من اليورانيوم النقى . لقد اوضحنا فيما سبق ان الانشطار الكامل لواحد كيلو جرام من الوقود الذرى (يورانيوم ٢٣٥) ينتج عنه كمية من الطاقة تعــادل تقريبا الطاقة الناتجة عن انفجار ١٦ الف طن من مادة الـــ T.N.T او ١٦ كيلو تون - وهذا يبين لنا دون ادنى شك مقدار الطاقة الهائلة الموجودة فــى القنبلة النووية. ولكن لنا هنا وقفة بالنسبة للوقود النــووى وهــو اليورانيــوم ٢٣٥، وفى الحقيقة ان كمية هذا الوقود لم يتم الحصول عليها بسهولة كما قد يتصور البعض ، وذلك لان استخلاص اليورانيوم ٢٣٥ من اليورانيــوم ٢٣٨ عملية صعبة ومعقدة وايضا نادرة فى اليورانيوم ٢٣٨ حيث انها تمثل ٠,٠٧٦ % ومن ثم فقد اقيمت تجارب عديدة بغرض الحصول على كميات كبيرة منها ونذكر هنا ان بداية هذه التجارب بدات فى صيف عام ١٩٤٠ م عندما اجرى اول عملية تقصى حول استخلاص اليورانيوم ٢٣٥ من اليورانيوم ٢٣٨ والتى تمثلت فى اجراءات النشر الغازى مع سداسى فلوريد اليورانيوم حيث ثبتــت انه ناجحة تماما .

وفى نفس الوقت الذى كانت تجرى فيه التجارب باهتمام بالغ لفصل اليورانيوم ٢٣٥ ، كانت الدراسات والتجارب قائمة باهتمـــام شديـــد ايضـــا بغرض الحصول على البلوتونيوم من اليورانيوم ٢٣٨ الغزيـــر فـــى المـــادة المنشطرة [لقد سبق ان نوهنا الى ذلك] حيث اثبتت التجـــارب النهائيـــة ان البلوتونيوم قابل للانشطار بنيوترون بطئ وسريع ، وبناء على ذلك وجد انـــه من الممكن استخدامه كبديل لليورانيوم ٢٣٥ وذلك بغرض استعماله فى بنـــا القنبلة النووية، وبناء على هذه النتائج اعطيت الاولويات لانتاج البلوتونيـــوم بكميات كبيرة ، فى نفس الوقت كان هناك ارتباط شديد بين انتاج البلوتونيوم وعملية التحكم فى سلسلة التفاعل الانشطارى [وهذا ماسنتحدث عنه بالتفصيل فيما بعد].

نظام خاص بالتفاعل النووى المتسلسل

التحكم فى سلسلة الانشطار النووى:

فى الواقع ان عملية التحكم فى التفاعل النووى المتسلسل الناتجة عن النيوترون البطئ تتطلب فى المقام الاول مادة مناسبة الغرض منها هو خفض سرعة النيوترون وهذا ما يطلق عليه بالمهدئ النووى، وعليه فقد اجريت تجارب عديدة فى هذا المجال ونذكر منها التجارب الاولية التى تم اجراؤها بواسطة " فون هالبان " وزملائه الفرنسيين والتى استخدم فيها هالبان ملح اليورانيوم المذاب فى الماء العادى - وعلى الرغم من ان التفاعل النووى المتسلسل استمر فى العمل بواسطة النيوترونات البطيئة الا انه سرعان ما اتضح بعد ذلك ان الكبر النسبى للقطاع المستعرض لامتصاص النيوترونات البطيئة بواسطة الهيدروجين يعمل على الغاء الاستعمال المائى كمهدئ نووى [وهذا يتم على اقل تقدير مع اليورانيوم الطبيعى الذى يحتوى على نسبة عادية من اليورانيوم ٢٣٥] . وبالاستمرار فى اجراء التجارب فى هذا المجال تم التوصل الى ان هناك أنواع أخرى من المواد تستخدم كمهدئات نووية ومنها على سبيل المثال الماء الثقيل [أكسيد الديوتيريم] والكربون اللذين يعطيان أفضل النتائج فى هذا المجال - وبالإضافة إلى ذلك وجد أن البريليوم مناسبا أيضا كمهدئ ولكن عملية الحصول عليه نقيا بكميات كبيرة تعتبر صعبة للغاية .

ونتيجة لهذا فقد قرر الفرنسيون إستخدام الماء الثقيل [أكسيد الديوتيريم] فى تجاربهم - وهنا لابد وأن نشير إلى حدث هام وهو [فى يونيو ١٩٤٠م عندما سقطت فرنسا فى يد الألمان ، فون هالبان وكوارسكى هربا إلى إنجلترا ومعهم حوالى ١٨٠ لترا من الماء الثقيل الذى حصلا عليه من

النيرويج ، إلا أن هذه الكمية لم تكن كافية لإحداث سلسلة التفاعل الإنشطارى ولكنها فى نفس الوقت كانت كافية للحصول على المعلومات المطلوبة منها فى نهاية ١٩٤٠م والتى أشارت إلى أن جهاز يورانيوم الماء الثقيل قادر على إحداث التسلسل الإنشطارى].

أما فى الولايات المتحدة الإمريكية فقد كانت الصورة مختلفة عن ذلك تماما ، وذلك لأنه بناء على إقتراح فيرمى وسزيلارد (المجرى الأصل) كانت الجهود متركزة حول إستخدام الكربون فى صورة جرافيت كمهدئ نووى وذلك لسهولة الحصول على إنتاجه، وفى نفس الوقت كانت هناك خطة عمل مشتركة بين العلماء الأمريكيين والكنديين وذلك بغرض إنتاج كميات كبيرة من الماء الثقيل فى إسرع وقت ممكن، ولكن نظرا للنتائج الناجحة التى حققها الجرافيت كمهدئ نووى صلب (غير سائل) فقد كان من نتيجة ذلك أن لعب الماء الثقيل دورا ثانيا عند مقارنته بالجرافيت وذلك فى مشروع الطاقة النووية الأمريكية أثناء فترة الحرب العالمية الثانية فقط – ولكن نظرا لأن الماء الثقيل له ميزات عديدة عند إستخدامه كمهدئ نووى لذا فقد إستعمل على نطاق واسع خاصة بعد الحرب العالمية الثانية حتى الوقت الحالى.

أما فى ألمانيا فقد حدث شئ آخر والذى يعد بمثابة تطورا جديدا أثناء الحرب العالمية الثانية وذلك عندما قام العلماء الألمان برئاسة "هايزنبرج" بعمل جهاز جديد يتكون من عدد كبير من المكعبات المعدنية لليورانيوم والتى تزن حوالى ١,٥ طن وقاموا بتعليقها فى خزان يحتوى على ١,٥ طن من الماء الثقيل [أكسيد الديوتيريم] مع وضع عاكس جرافيتى، وتبعا لتقارير هايزنبرج فقد وجد أن هذه الكمية صغيرة لإحداث التسلسل الإنشطارى وعليه فقد قرر زيادتها للحصول على التفاعل النووى المتسلسل – ولكن قبل القيام بزيادة هذه الكمية إستطاع الأمريكان إحتلال قرية هايجرلوخ التى كانت

تجرى فيها هذه التجربة فىمخزن تحت الأرض تم تشييده عن طريق قطع الصخور تحت الأرض ولقد حدث أن توقف كل شئ في ٢٢ إبريل عام ١٩٤٥م .

ملحوظة :

يرى بعض العلماء أنه لو لم يحدث إحتلال لقرية هايجرلوخ أو على الأقل لو إستطاع هايزنبرج تكملة مشروعه لحصل فى أسرع وقت على التفاعل النووى المتسلسل الذى كان بغيته .

والآن نتطرق إلى موضوع على درجة عالية من الأهمية وهو عامل التكاثر النووى :

كما أشرنا من قبل أنه لإستمرارية حدوث التفاعل النووى المتسلسل لابد وأن كل نيوترون ينتج عن الإنشطار النووى يكون قادرا على بداية إحداث إنشطار آخر - ومن ثم فإن الحالة الدنيا لكل نواة تمر بعملية الإنشطار لابد وأن تنتج على الأقل (فى المتوسط) نيوترون واحد يقوم بإحداث إنشطار آخر - وهذه الحالة إطلق عليها مصطلح عامل التكاثر أو نظام عامل التكاثر . (وعامل التكاثر هو عبارة عن النسبة بين عدد النيوترونات الناتجة عن الإنشطار فى أى جيل واحد إلى عدد النيوترونات الفورية للجيل السابق له).

وهنا علينا أن نتفهم جيدا الأتى :

إذا كان عامل التكاثر الممثل بالرمز "ف" يساوى تماما (أو أكبر من) الوحدة فإنه من الممكن حدوث التفاعل النووى المتسلسل. ولكن إذا كانت (ف) أقل من الوحدة أو حتى أقل قليلا جدا منها فإن التفاعل المتسلسل لن يحدث على الإطلاق، وهنا نضرب المثال التالى :

نفترض أن جيل معين من الأجيـــال المنشطـــرة إبتـــدأ بـــــ ١٠٠ نيوترون، فإذا كان عامل التكاثر يساوى الوحدة، فإنه سيكون لدينا هنـــا ١٠٠ نيوترون فى بداية الجيل الثانى، ثم ١٠٠ نيوترون فى بداية الجيـــل الثـــالث وهكذا. [أى أنه بمجرد أن تبدأ عملية الإنشطار الأولى فإن سلسلة الإنشطـــار النووى تستمر بنفس المعدل الذى بدأت فيه] .

ولكن إذا كان عامل التكاثر النووى (ف) أكبر من الوحدة ، وليكـــن على سبيل المثال (١,٠٥) ، وأن عدد النيوترونات البادئة ١٠٠ نيوتـــرون – فإننا نجد هنا أن عدد النيوترونات الناتجة فى بداية الجيل الثانى هى :

١٠٠ × ١,٠٥ = ١٠٥ نيوترون

[أى أن عدد النيوترونات يزداد من جيل للذى يليه وهكـــذا تســتمر عملية الزيادة فى عدد النيوترونات تبعا للأجيال المنشطرة]، وعليـــه فإننـــا نخرج من ذلك بالإتى :

أن عدد النيوترونات الحاضرة فى نهاية "ن" للأجيال المنشطرة يمكن معرفته من المعادلة الآتية [وهى المعادلة رقم ٢ السابق الإشارة إليها] .

حــ = (حــ١ × هــ)^(ءن)

حيث حــ١ = ١٠٠ نيوترون

د = عامل التكاثر "ف" -١ وهى الزيـــادة فـــى عـــدد النيوترونات لكل جيل، أى انها تساوى =١,٠٥-١=٠,٠٥ أى أن

د = ٠,٠٥ وهى الممثلة هنا فى حالتنا هذه .

[**ملحوظة هامة** : علينا ان نتذكر جيدا انه فى حالة القنبلة النوويـــة فان الوضع يختلف حيث ان عامل التكاثر "ف" لابد وان يكون٢ نيوترون، وان الزيادة فى عدد النيوترونات لكل جيل "د" هى واحد نيوترون، وعليه فان نسبة

الزيادة فى كثافة النيوترون تكون اكبر بكثير من تلك التى موجودة فى سلسلة الانشطار المتحكم فيه] .

وبمتابعة مناقشاتنا السابقة نضيف المثال التالى : انه بعد انشطار ١٠٠ جيل فان عدد النيوترونات الحاضرة يصبح ١٤٨٠٠ نيوترون، أى اننا نخرج مما سبق بالاتى : ان نيوترونات قليلة تعمل على انتاج سلسلة إنشطارات لا متناهية – ونضيف إلى ذلك أنه لكى يتم منع سلسلة الإنشطارات المتتالية من الخروج عن دائرة التحكم فلا بد من ادخال ماص النيوترونات فى هذا الجهاز.

ومن الناحية الاخرى ، اذا كان عامل التكاثر اقل من الوحدة أى يساوى ٠,٩٥ على سبيل المثال ، فان عدد النيوترونات سينخفض من ١٠٠ نيوترون عند البداية الى ٩٥ عند بداية الجيل الثانى – وفى هذة الحالة نجد الاتى :

أن " ف – ١ " سوف تصبح ٠,٩٥ – ١

أى ان د = – ٠,٠٥ بمعنى اخر ان عدد النيوترونات سوف ينخفض من ١٠٠ نيوترون الى واحد نيوترون فى حوالى ٩٢ جيل، وعليه فان السلسلة الانشطارية لن تتكاثر تحت هذه الحالات . كما لاحظنا مما سبق ان عامل التكاثر هو الأساس لإحداث التفاعل النووى المتسلسل ومن ثم فقد وجد ان قيمة عامل التكاثر فى أى جهاز يتكون من اليورانيوم ومهدئ نووى يعتمد على الاتجاهات النسبية التى فيها تاخذ النيوترونات جزءا من الاربع عمليات الرئيسية الاتية :

١– الفقد الكامل للنيوترونات عن طريق تسربها من الجهاز الخاص بذلك .

٢– الاقتناص الغير انشطارى و الموجود بصفة اساسية فى اليورانيوم ٢٣٨ والى حدما فى اليورانيوم ٢٣٥ الغير غزير .

٣- الاقتناص الغير إنشطارى [غالبا مايشير اليـــه بالاقتنـــاص الطفيلـــى] بوسطة المهدئ النووى وايضا عن طريق المواد الغريبة المختلفـــة " مثـــل الشوائب الموجودة فى اليورانيوم و المهدئ " ثم النواتج الانشطارية .

٤- اقتناص النيوترونات البطيئة بواسطة اليورانيوم ٢٣٥ عند حدوث عمليـــة الانشطار ، بالاضافة الى اليورانيوم ٢٣٨ .

ويلاحظ انه فى جميع الحالات السابقة يتم ازالة النيوترونـــات مـــن الجهاز ، لكن توجد هناك نيوترونات اخرى تتوالد فى الحالة الرابعة نتيجـــة العملية الانشطارية وذلك حتى تحل هذه النيوترونات الجديدة محل السابقة .

مما سبق يتبين لنا الاتى :

إذا كان عدد النيوترونات المنتج فى الحالة الاخيرة (٤) يزيـــد عـــن العدد الكلى المفقود عن طريق التسرب او الهروب وايضا بواسطة الاقتناص الانشطارى و الغير انشطارى فستكون النتيجة ان هنـــاك زيـــادة فـــى عـــدد النيوترونات فى كل جيل - وعليه فان عامل التكاثر سوف يزيد عن الوحـــدة وبالتالى سيتم حدوث التفاعل المتسلسل .

حساب عامل التكاثر :

لقد اشرنا الى ان عامل التكاثر على درجة كبيرة من الاهمية وذلـــك لانه الركيزة الاساسية فى احداث التفاعل النووى التسلسل - ولهذا فقد تمـــت اجرءات عديدة حول حساب عامل التكاثر - ولقد تبين لنا من خلال الدراسات حول هذا الموضوع ان افضل الاقتراحات التى قدمت فى هذا المجـــال هـــو اقتراح " فيرمى " الامريكي الذى قام بتطوير اقتراحه العالم " ويجنر " وبعض العلماء الآخرين اثناء مشروع استعمال الطاقة النووية فى الحرب وذلك فـــى الولايات المتحدة الامريكية السابق الاشارة اليه - وسنكتفى هنا بعرض موجز حول اقتراح فيرمى الخاص بحساب عامل التكاثر الشهير :

لكى نتفهم حساب عامل التكاثر علينا ان نتعرف بتفصيل شبه كـــامل عن متوسط اللانهاية لعامل التكاثر.

ولقد تبين من خلال الحالات الاربعة للنيوترونات الســـابق الاشـــارة اليها ان الثلاثة حالات الاخيرة " ٢ ، ٣ ، ٤ " تعتمد على مكونات جـــهاز التفاعل النووى المتسلسل والتى هى على سبيل المثال :

طبيعة المواد الموجودة فى الجهاز و ايضا الكميات النسبية للمواد ثم ترتيبها . أما بخصوص الحالة الاولى وهى هروب النيوترونات و التى اطلق عليها بالتسرب النيوترونى فلقد تم التحكم فيها هندسيا وذلك عن طريق حجـــم وشكل الجهاز .ولسهولة فهم عامل التكاثر فقد وجد انه ينقسم الى جزئين :

الأول خاص بالمواد والثانى بالناحية او الشكل الهندسى

فالجزء الاول يطلق عليه متوسط عامل التكاثر اللانهائى وسنرمز له هنا بالرمز "$ف_{\infty}$". ويعرف متوسط عامل التكاثر اللانهائى بانه (النسبة بيـــن عدد النيوترونات المنشطرة فى أى جيل واحد فقـــط الـــى العـــدد الفـــورى للنيوترونات فى الجيل السابق فى جهاز الحجم اللانهائى). ومن المعلومـــــات السابقة يمكننا التوصل الى الاتى :

بما ان " ف " كما اشرنا من قبل هى النسبة بين عدد النيوترونــــات الناتجة عن الانشطار فى أى جيل واحد فقط الى عدد النيوترونـــات الفوريـــة للجيل السابق، وكما راينا ايضا ان " $ف_{\infty}$ " تعنى القيمة لمتوسط عامل التكاثر اللانهائى فى جهاز كبير لا يوجد به أى فقد فى عدد النيوترونات عن طريـــق التسرب. ومن هاتين المعلومتين نتوصل الى وضع المعادلة التالية :

$$ف = ف_{\infty} \times ل$$

حيث " ل " هى احتمال عدم التسرب فى الجهاز الذى يعتمد اساسا على النواحى الهندسية.

وبناء على ما سبق فانه يوجد احتمال كبير فى ان النيوترونات المنشطرة تظل فى الجهاز ذو الحجم المحدد و الذى عن طريقه لا تستطيع النيوترونات التسرب قبل امتصاصها . ولكن هنا قد يتسائل البعض هل هناك ثمة فارق مميز بين ف، $ف_{\infty}$ ؟

والاجابة على هذا هى ان :

ف تعنى عامل التكاثر الفعال

$ف_{\infty}$ هى عامل التكاثر اللانهائى

الا ان " فيرمى " لم يتوقف عند هذا الحد ، فنظرا لاهتمامه الشديد بالحاسب الكمى لمتوسط عامل التكاثر اللانهائى فقد قام بالدراسة الكلية لنيوترونات جيل محدد، وعليه فقد افترض ان $جـ_{٢}$ هى نيوترونات سريعة (ناتجة عن الانشطار) موجودة فى الجهاز المعد لذلك فى بداية هذا الجيل، حيث ان هذا الجهاز يتكون من يورانيوم طبيعى ومهدئ نووى مثل الجرافيت. وعليه فقبل ان تنخفض سرعة هذه النيوترونات بشكل محسوس فان البعض القليل منها سوف يحدث انشطارا لنويات اليورانيوم ٢٣٨ وايضا نسبة قليلة من نويات اليورانيوم ٢٣٥ .

ونظرا لان هناك اكثر من نيوترون سريع يتحرر فى كل عملية انشطارية، فان من نتيجة ذلك ان تزداد اعداد النيوترونات الموجودة بالجهاز.

ويضيف فيرمى : واذا اخذنا فى الاعتبار ان التأثير الممكن وقوعه عن طريق ضرب $جـ_{٢}$ فى $هـ_{١}$ [التى يطلق عليها عامل الانشطار السريع]، فان

النتيجة التى نحصل عليها هنا هى قيمة اكثر قليلا من الوحدة وهى عادة ما تساوى ١,٠٣ نيوترون.

وبما ان (جـ$_٢$ × هـ$_١$) نيوترون " أو ١,٠٣ نيوترون" تتحرك خلال جهاز مهدئ اليورانيوم (حيث يتم الانشطار النووى) فانه سيحدث الكثير من التصادمات المرنة مع نوية المهدئ [وهو الجرافيت] ثم تصادمات غير مرنة مع نويه اليورانيوم ومن ثم فانه نتيجة لذلك يحدث انخفاض كبير فى طاقة وسرعة هذه النيوترونات. ولكن بينما تمر هذه النيوترونات بمرحلة لانخفاض السريع فى الطاقة والسرعة فانها تمر خلال منطقة التردد الصوتى لليورانيوم ٢٣٨ التى يتراوح مجالها من ٦ الى ٢٠٠ الكترون فولت وهنا يوجد فى هذه الحالة فرصة لاقتناص بعض هذه النيوترونات .ويؤخذ فى الاعتبار هنا انه من الممكن عمل ذلك باستخدام عامل احتمال التسرب الترددى (ل) للنيوترونات . وعامل احتمال التسرب الترددى للنيوترونات دائما اقل من الوحدة وهو هنا عبارة عن أى نيوترون سريع سيصل الى المنطقة الحرارية دون ان يمر بمرحلة انقسام غير انشطارى.

من ذلك نخرج بان "جـ$_٢$ × هـ$_١$ × ل " وهى عدد النيوتروتات السريعة تتقارن مع جـ$_٢$ الاصلية التى دخلت الجهاز والتى مرت بسلام خلال مرحلة خفض سرعتها عن طريق المهدئ النووى .

وبالرجوع الى " ل " وهو عامل احتمال التسرب الترددى للنيوترونات فنجد أنه يعتمد بدرجة كبيرة على العلاقة النسبية للجرافيت واليورانيوم فى الجهاز وأيضا الترتيبات الهندسية لهم. فعندما تنخفض طاقة النيوترونات الى المنطقة الحرارية، فانهم (أى النيوترونات) تنتشر فى المهدئ ومن ثم فان توزيع الطاقة هنا يظل بالضرورة ثابتا حتى يتم

امتصاصهم (أى النيوترونات) نهائيا سواء كان ذلك عن طريق اليورانيوم او الجرافيت او بأى الشوائب او المواد الاخرى التى ربما قد تكون موجودة فـــى الجهاز .

وعليه فاذا كانت "أ١" [تشير الى عامل الافادة الحرارية] هى جزء من النيوترونات الحرارية المأخوذة بواسطة نوية اليورانيوم (بعض الانويـــة يمر بعملية الانشطار) فانه يترتب على ذلك ان :

(جـــ٢ × هـــ١ × ل × أ١) تمثل عدد النيوترونات المشتركـــة فـــى العملية الانشطارية . أما بخصوص عامل الافادة الحرارية [وايضـــا عـــامل احتمال التسرب الترددى] يمكنالسيطرة عليه بواسطة المزيـــج المكـــون مـــن الجرافيت واليورانيوم بالاضافة الى الترتيبات الهندسية للجهاز .

وفى النهاية يقول فيرمى انه اذا افترض ان " م" هى متوســـط عـــدد النيوترونات المنتجة عن الانشطار النـــووى لكـــل نيوتـــرون حـــرارى تـــم امتصاصه عن طريق اليورانيوم .

إذن فان "جـــ٢ × هـــ١ × ل × أ١ × م" هـــى عبـــارة عـــن عـــدد النيوترونات السريعة المتولدة كنتيجة لدخول النيوترونات السريعة الاصليـــة "جـــ٢" المنشطرة الى الجهاز.

وحيث ان النيوترونات المنشطرة "جـــ٢ " للجيل الاول تنتج :

"جـــ٢ × هـــ١ × ل × أ١ × م " نيوترونات متشابهة فى الجيل الثـــانى. فـــان متوسط عامل التكاثر اللانهائى "ف∞" يمكن الحصول عليه من المعادلة التالية:

$$\frac{\text{جـ}_{2} \times \text{هـ}_{1} \times \text{ل} \times \text{أ}_{1} \times \text{م}}{\text{جـ}_{2}} = \text{هـ}_{1} \times \text{ل} \times \text{أ}_{1} \times \text{م}$$

وعليه فحتى يتم التفاعل المتسلسل بطريقة ذاتية مستمرة فلابـــد وان تكون $ف_{\infty}$ اكبر من الوحدة وهذه نقطة هامة للغاية.

ولكي يتم التاكد من ان سلسلة التفاعلات النووية سوف تتوالد بصورة ذاتية بمجرد ان تبدا العملية الانشطارية فلابد وان تكون كل من "ل" و "$أ_١$" اكبر مايمكن وذلك على الرغم من انهما دائما اصغر من الوحدة .

ومن الظروف السيئة هنا ان التغيير فى علاقـــة نســب اليورانيــوم والمهدئ والنووى تؤدى الى زيادة احد هذه العوامل وانخفاض الاخرى.

فاذا كان الجهاز يحتوى على كمية من المهدئ النـــووى اكـــبر مـــن اليورانيوم فان عامل احتمال التسرب الترددى " ل " ســـوف يـــزداد وعليـــه فسوف تكون هناك فرصة اكبر للنيوترونات لكى تصل الى المنطقة الحرارية بدون ان تمر على الاقتناص الغير انشطارى الذى يتم بواســـطة اليورانيـــوم ٢٣٨.

وعلى النقيض فان نسبة صغيرة من اليورانيوم (انوية اليورانيـــوم ٢٣٥) فى الجهاز تعنى ان عامل الافادة الحـــرارى "$أ_١$" ســـوف يتنـــاقص، وبالمثل اذا كانت النسبة بين المهدئ النووى واليورانيوم منخفضة فان قيمـــة " ل " سوف تنخفض أما قيمة "$أ_١$" فانها ستزداد فى نفس الوقت .

وعليه فانه لابد فى الواقع العملى من ايجاد المكونات المحددة للجهاز الذى يعطى اقصى قيمة للناتج " $ل \times أ_١$ ".

ومن التجارب السابقة استطاع فيرمى ان يتوصل الى الاتى :

لقد وجد فيرمى انه من الطرق المعقولة و التـــى يمكـــن عـــن طريقها التغلب على الصعوبات المتعلقة بالتغيرات المتضادة لكل من "ل" و "$أ_١$" هى استعمال اليورانيوم المشبع والذى هو عبارة عن اليورانيـــوم

المحتوى على زيادة كبيرة من النظير القابل للانشطار وهـو اليورانيـوم ٢٣٥ وذلك عند مقارنتة باليورانيوم الطبيعى المحتوى على نسبة قليلة من اليورانيوم ٢٣٥.

فلقد وجد انه باستعمال اليورانيوم المشبع فـان كـل مـن " ل " و "أ١ " ستزداد نسبتها فى المهدئ ، وبناء عليه فان فرص هـروب الاقتناص الترددى بواسطة اليورانيوم ٢٣٨ واحداث الانشطار الحرارى لليورانيوم ٢٣٥ سوف تكون اكبر لكلى الاثنين " ل " و "أ١ " .

بالاضافة الى ذلك فانه باستخدام اليورانيوم المشبع يمكن تقليـل كمية المهدئ النووى مع استمرارية الاحتفاظ بالتحكم فى التفاعل النووى المتسلسل.

الاجهزة ذات الانظمة المتجانسة والغير متجانسة :

كما سبق ان ذكرنا ان قيم كل من " ل " و "أ١ " تعتمد اساسا علـى الترتيات الهندسية لليورانيوم والمهدئ النووى معا. وأبسط هـذه الترتيبـات عبارة عن شكل مزيجى متناسق للجرافيت واليورانيوم سواء كان هذا الشكـل فى صورة معدنية او مكونات له وهذا ما يطلق عليه بالنظـام المتجـانس او جهاز النظام المتجانس. ومن خلال التجارب العديدة التى اجريت فـى هـذا المجال وجد ان الحسابات [هذه الحسابات مبنية على اساس قياس القطاعـات المستعرضة للنيوترون ذو الطاقات المختلفة] اوضحت ان قيمة الحد الاقصى الممكن احتمالها لـ $ف_\infty$ "عامل التكاثر اللانهائى" فىجهاز النظام المتجـانس لليورانيوم الطبيعى و الجرافيت هى ٠,٨٠ ونتيجة لذلـك فـان اسـتمرارية التفاعل المتسلسل تعتبر مستحيلة . الا ان " فيرمى " الامريكى و " سزيلارد" المجرى الاصل والذى كان مقيما فى الولايات المتحدة الامريكية ويعمل مـع

فيرمى فى ذلك الوقت توصلا الى نقطة هامة فى هذا المجال وهى المتعلقة بمكونات اليورانيوم والجرافيت والتى تمثلت فى : انه من الممكن زيادة المتوسط اللانهائى لعامل التكاثر وذلك عن طريق بناء جهاز ذو نظام غير متجانس – حيث يتكون هذا الجهاز من شبكة مكونة من كتل كبيرة من اليورانيوم [أو أكسيد اليورانيوم] ومثبتة فى كتلة جرافيت .

ملحوظة :

لقد توصل إلى هذه الفكرة فون هالبان بمفرده وذلك بإستخدام مهدئات أخرى غير الجرافيت].

فلقد وجد فى هذا النظام الغير المتجانس أنه نتيجة لدخول كتل اليورانيوم فإن النيوترونات ذات الطاقات فى المنطقة الترددية والتى فيها القطاعات المستعرضة عالية جدا يتم إقتناصها فى الطباقات الخارجية. وبالطبع نتيجة لإمتصاص النيوترونات من الطبقة الخارجية فإن المادة الداخلية تكون محمية من النيوترونات الرنانة – وعليه فإن النيوترونات الرنانة الممتصة عن طريق النويات الموجودة فى كتل اليورانيوم تكون كميتها أقل عما لو كان اليورانيوم قد تشتت فى شكل ذرات مفردة أو دقائق صغيرة جدا، وبناء على ذلك فإن إستعمال الشبكة المكونة من كتل اليورانيوم تزيد من قيمة "ل" وهى عامل إحتمال التسرب الرنينى .

وبالإضافة إلى ذلك فقد ثبت أنه يصاحب هذه العملية خفض فى عامل الإفادة الحرارى ولكن بنسبة ضئيلة، ولكن من خلال الحسابات النظرية الناتجة عن الدراسات العديدة وأيضا التجارب والقياسات فقد وجد أنه قد تبين على الأقل مع كتل ذات حجم محدد أن الزيادة فى عامل إحتمال التسرب الرنينى " ل" أكبر من الفقد فى عامل الإفادة الحرارى "أ"، وعليه فإن ناتج " ل×أ " يزداد بإستعمال قطع كبيرة نسبيا من اليورانيوم .

نخرج من ذلك بالآتى :

أن الحد الأقصى لقيمة عامل التكاثر اللانـــهائى "∞ف" وذلـــك مـــع مراعاة الترتيب الهندسى المثالى لليورانيوم الطبيعى فى شبكة الجرافيت قـــدر بحوالى١,٠٧، وعليه فإن جهاز التفاعل المتسلسل الغير متجانس هو الأمثــــل لهذه المواد .

ملحق رقم (١)

غالبية معجلات الجسيمات العالية والمتوسطة الطاقة فى العالم

المصدر : هيئة الطاقة الذرية الأمريكية

م	المـــــوقـــــع	أسم المعجل	الطاقة بالمليون	الجسيمات	عام البدء
١	معمل لورنس للأشعة ، بروكلى– كاليفورنيا الولايات المتحدة	١٨٤ بوصة سينكروسيكلوترون	٧٤٠	بروتون	١٩٤٦
٢	معهد البحوث النووية ، دوبنا الأتحاد السوفيتى	سينكروسيكلوترون	٦٨٠	بروتون	١٩٤٩
٣	جامعة كولومبيا – نيويورك	سينكروسيكلوترون	٤٠٠	بروتون	١٩٥٠
٤	جامعة ستانفورد، بالواتو ، كاليفورنيا	مارك الثالث، ليناك	١٢٠٠	الكترون	١٩٥٠
٥	جامعة شيكاغو ، شيكاغو ،النيوى	سينكروسيكلوترون	٤٥٠	بروتون	١٩٥١
٦	جامعة برمنجهام ، برمنجهام – إنجلترا	بروتون سيكلوترون	١٠٠٠ ٦٥٠	بروتون ديزون	١٩٥٣
٧	معمل لورنس للاشعة ، بروكلى – كاليفورنيا	بيفاترون	٦٢٠٠	بروتون	١٩٥٤
٨	سيرن المجلس الأوربى ، جنيف – سويسرا	سيرن سينكروسيكلوترون	٦٠٠	بروتون	١٩٥٧
٩	معهد البحوث النووية ، دوبنا الأتحاد السوفيتى	بروتون سينكروفيزوترون	١٠٠٠٠	بروتون ديروتون	١٩٥٧ ١٩٧١

تابع ملحق رقم (١)

م	المـــوقـــــع	أسم المعجل	الطاقة بالمليون	الجسيمات	عام البدء
١٠	مركز البحوث النووية، ساكلاى - فرنسا	ساتيرن بروتون سينكروترون	٣٠٠٠ ٢٤٠٠	بروتون ديروتون	١٩٥٨
١١	المعمل القومى ، فراسكاتى ، إيطاليا	الكترون سينكروترون	١١٠٠	الكترون	١٩٥٩
١٢	كلية العلوم أورساى ، فرنسا	معمل خطى	٢١٠٠	الكترون	١٩٥٩
١٣	سيرن (المجلس الأوربى) جنيف - سويسرا	سيرن بروتون سينكروترون	٢٨٠٠٠	بروتون	١٩٥٩
١٤	جامعة لوند ، لوند - السويد	لوسى - الكترون سينكروترون	١٢٠٠	الكترون	١٩٦٠
١٥	معمل بروكهافن القومى، ابتن، نيويورك	سينكروترون ذو الميل المتغير	٣٣٠٠٠	بروتون	١٩٦٠
١٦	جامعة طوكيو ، طوكيو ، اليابان	الكترون سينكروترون	١٣٠٠	الكترون	١٩٦١
١٧	معهد الطبيعة موسكو ، الأتحاد السوفيتى	بروتون سينكروترون	٧٢٠٠	بروتون	١٩٦١
١٨	معهد هارفارد، كمبريدج، مساشوستش	كمبريدج للالكترونات	٦٠٠٠ ٦٠٠٠ ٣٥٠٠	الكترون بوزيترون الكترون	١٩٦٢
١٩	جامعة برنستون ، برنستون ، نيوجيرس	برنستون بنسلفانيا	٣٠٠٠ ٢٣٠٠	بروتون ديوترون	١٩٦٣ ١٩٧٠

تابع ملحق رقم (١)

م	المــوقــــــع	أسم المعجل	الطاقة بالمليون	الجسيمات	عام البدء
٢٠	معمل رذرفورد ، بركشاير - إنجلترا	نمرود	٧٠٠٠	بروتون	١٩٦٣
٢١	معمل أرجون القومى ، أرجون - الينوى	سينكروترون ذو الميل صفر	١٢٧٠٠	بروتون	١٩٦٣
٢٢	المعهد الفنى تومسك ، الأتحاد السوفيتى	سيريوس الكترون سينكروترون	١٣٠٠	الكترون	١٩٦٤
٢٣	معهد الفنون الطبيعية ، خاركوف الأتحادالسوفيتى	معجل خطى	١٨٠٠	الكترون	١٩٦٤
٢٤	مركز السينكروترون ، هامبورج،المانيا الغربية	الكترون سينكروترون	٧٥٠٠	الكترون	١٩٦٤
٢٥	معمل المعجل الخطى أورساى ، فرنسا	أكو ذوحلقة التخزين	٤٥٠	الكترون بوزيترون	١٩٦٥
٢٦	معمل إشعاعات الفضاء، نيويورت، نيوز- فرجينيا	سينكروسيكلوترون	٦٠٠	بروتون	١٩٦٥
٢٧	معمل الطبيعه النووية ، دار سبرى - إنجلترا	نينا الكترون سنيكروترون	٥٠٠٠	الكترون	١٩٦٦
٢٨	جامعة ستانفورد ، بالوالتو - كاليفورنيا	سلاك سلاك سبير	٢٢٠٠٠ ١٥٠٠٠ ٣٠٠٠	الكترون بوزيترون الكترون -بوزيترون	١٩٦٦ ١٩٦٩ ١٩٧٢
٢٩	معمل الطبيعه النووية، فوفو سيرسك ، الأتحاد السوفيتى	قب الثانى	٧٥٠	الكترون - بوزيترون	١٩٦٧

تابع ملحق رقم (١)

م	الموقــــع	أسم المعجل	الطاقة بالمليون	الجسيمات	عام البدء
٣٠	المعهد الفنى للأشعة ، موسكوالأتحادالسوفيتى	طراز سبر نطيقى	٩٦٠	بروتون	١٩٦٧
٣١	معهد الطبيعة ، بون ، المانيا الغربية	بون - الكترون سينكروترون	٢٣٠٠	الكترون	١٩٦٧
٣٢	المعهد الطبيعة، بريفان ، الأتحاد السوفيتى	يريفان -الكترون سينكروترون	٦١٠٠	الكترون	١٩٦٧
٣٣	جامعة كورنل اثاكا - نيويورك	١٠ بليون الكترون فولت سينكروترون	١٠٠٠٠	الكترون	١٩٦٧
٣٤	معهد طبيعة الطاقة العالية ، صرب كوف ، الأتحاد السوفيتى	سينكروترون ذو الميل المتغير	٧٦٠٠٠	بروتون	١٩٦٧
٣٥	مركز البحوث النووية ، ساكلاى فرنسا	ليناك	٦٤٠	الكترون	١٩٦٨
٣٦	المعمل القومى ، فراسكاتى ، إيطاليا	أدون ذو حلقة التخزين	١٢٠٠	الكترون - بوزيترون	١٩٦٩
٣٧	معهد الطبيعة النووية ، نوفو سيرسك، الأتحاد السوفيتى	فب الثالث	٣٥٠٠	الكترون	١٩٧١
٣٨	سيرن(المجلس الأروبى) جنيف ، سويسرا	سيرن ذو حلقات التخزين المتقاطعة	٢٨٠٠٠	بروتون/أنتى بروتون	١٩٧١
٣٩	المعهد الفنى، كمبريدج ، ماسوشوستش	ليناك عالى الأداء	٤٠٠	الكترون	١٩٧١

تابع ملحق رقم (١)

م	المـــوقــــــع	أسم المعجل	الطاقة بالمليون	الجسيمات	عام البدء
٤٠	معهد الطبيعة النووية،نوفو سبرسك-الأتحاد السوفيتى	فب الثانى مكرر	٧٠٠	الكترون/ بوزيترون	١٩٧١
٤١	معمل المعجل القومى ، باتافيا – الينوى	٢٠٠ بليون الكترون فولت سينكروترون	٢٠٠٠٠٠	بروتون	١٩٧٢
٤٢	المعمل العلمى، لوس ألاموس ، نيومكسيكو	لاميف	٨٠٠	بروتون	١٩٧٢
٤٣	معهد الطبيعة النووية نوفو سبرسك الأتحاد السوفيتى	فب الرابع فاب	١٠٠٠٠ ٢٣٥٠	الكترون-بوزيترون بروتون-أنتى بروتون	١٩٧٢
٤٤	تريومف ، فانكوفر ، كندا	تريومف	٥٠٠	أيون هيدروجين	١٩٧٣
٤٥	معهد البحوث النووية، فليجن ، سويسرا	سيكلوترون ذوالحلقه منتظمة النبضة	٥٨٥	بروتون	١٩٧٣
٤٦	جامعة ستانفورد بالواتو- كاليفورنيا	مارك الثالث ، ليناك ذو الأداء الفائق	٢٠٠٠	الكترون	١٩٧٣
٤٧	ديزى ، هامبرج ، المانيا الغربية	دوريس ذو حلقة التخزين	٣٥٠٠	الكترون - بوزيترون	١٩٧٤
٤٨	معهد طبيعة الطاقة العالية ، تسوكوبا ، اليابان	سينكروترون	٨٠٠٠	بروتون	١٩٧٤
٤٩	سيران(المجلس الأوربى) جنيف سويسرا	٣٠٠ بليون الكترون فولت بروتون سينكروترون	٣٠٠٠٠٠	بروتون	١٩٧٥

ملحق رقم (٢)

الترتيب الأبجدى للعناصر

العنصر	الرمز	العدد الذرى	العنصر	الرمز	العدد الذرى
اكتينيوم .	Ac	٨٩	يوروبيوم .	Eu	٦٣
ألومنيوم .	AL	١٣	فيرميـوم .	Fm	١٠٠
أميريسيوم .	Am	٩٥	فلورين .	F	٩
أنتيمونى .	Sb	٥١	فرانسيوم	Fr	٨٧
أرجون .	A	١٨	جادولينيوم .	Gd	٦٤
زرنيخ .	As	٣٣	جاليوم .	Ga	٣١
أستاتين .	At	٨٥	جيرمانيوم .	Ge	٣٢
باريوم .	Ba	٥٦	ذهـــب .	Au	٧٩
بيركيليوم .	Bk	٩٧	هافنيوم .	Hf	٧٢
بيريليوم .	Be	٤	هولميوم .	Ho	٦٧
بيسمث .	Bi	٨٣	هيدروجين .	H	١
بورون .	B	٥	إنديوم .	In	٤٩
برومين .	Br	٣٥	ايودين .	I	٥٣
كادميوم .	Cd	٤٨	إيريديوم .	Ir	٧٧
كالسيوم .	Ca	٢٠	حديد .	Fe	٢٦
كاليفورنيوم .	Cf	٩٨	هيليوم .	He	٢
كاربون .	C	٦	كريبتون .	Kr	٣٦
سيريوم .	Ce	٥٨	خورتشاتوريوم .	Ku	١٠٤
سيزيوم .	Cs	٥٥	لانثانوم .	La	٥٧

تابع ملحق رقم (٢)

العنصر	الرمز	العدد الذرى	العنصر	الرمز	العدد الذرى
كلورين .	Ci	١٧	لورينسيوم	Lw	١٠٣
كروميوم .	Cr	٢٤	رصاص	Pb	٨٢
كوبلت .	Co	٢٧	ليثيوم	Li	٣
نحاس .	Cu	٢٩	ليوثيثيوم	Lu	٧١
سيورم .	Cm	٩٦	متنيسيوم	Mg	١٢
ديسيروسيوم .	Dy	٦٦	منجنيز	Mn	٢٥
إينستينيوم .	Es	٩٩	مينديليفيوم	Md	١٠١
إربيوم .	Er	٦٨	ميرسيورى	Hg	٨٠
موليبدينيوم .	Mo	٤٢	سماريوم	Sm	٦٢
نيوديميوم .	Nd	٦٠	سكانديوم	Sc	٢١
نيون .	Ne	١٠	سيلتيوم	Se	٣٤
نيتينيوم .	Np	٩٣	سيليكون	Si	١٤
نيكل .	Ni	٢٨	فضة	Ag	٤٧
نيوبيوم .	Nb	٤١	صوديوم	Na	١١
نيتروجين .	N	٧	سترونتيوم	Sr	٣٨
نوبليوم .	No	١٠٢	سلفا	S	١٦
أوسميوم .	Os	٧٦	تانتالم	Ta	٧٣
أكسجين .	O	٨	تيكنيتيوم	Tc	٤٣
بلاديوم .	Pd	٤٦	تيليوريوم	TE	٥٢

تابع ملحق رقم (٢)

العنصر	الرمز	العدد الذرى	العنصر	الرمز	العدد الذرى
فوسفور .	P	١٥	ثيربيوم .	Tb	٦٥
بلاتين .	Pr	٧٨	ثاليوم .	TL	٨١
بلوتونيوم .	Pu	٩٤	ثوريوم .	Th	٩٠
بولونيوم .	Po	٨٤	ثيوليوم .	Tm	٦٩
بوتاسيوم .	K	١٩	قصدير .	Sn	٥٠
بريسوديميوم .	Pr	٥٩	تيتانيوم .	Ti	٢٢
بروميثيوم .	Pm	٦١	تيتجستون .	W	٧٤
بروتاكتينيوم .	Pa	٩١	يورانيوم .	U	٩٢
راديوم .	Ra	٨٨	فاناديوم .	V	٢٣
رادون .	Rn	٨٦	إكسينون .	Xe	٥٤
رينيوم .	Rc	٧٥	يتيربيوم .	Y	٣٩
ريوبيديم .	Rb	٣٧	زنك .	Zn	٣٠
ريوثينيوم .	Ru	٤٤	زيركونيوم .	Zr	٤٠
روديوم .	Rh	٤٥			



المراجع

1 - Fisher.J.C., Energy Crises in perspective, John Wiley and Sons, New york, 1974

2 - Wilson, Corroll (director), Man's Impact on the Global Enviroment, M.I.T. Press, Cambridge , Mass., 1970 .

3 - Bennet, D,J, the Elements of Nuclear power , Longmans , London , 1972.

4 - Glasstone, S., Source Book on Atomic Energy, D. Van Nostrand Co , Inc , New Youk, 1958 .

5 - Heckman ,s H . H . and P.W . Starring , Nuclear Physics and the fundamental particles, Holt Rinehart and Winston . Inc , New York , 1963.

6 - Kaplan, I , Nuclear physics , Addison Wesley publishing Co. Inc ., Reading mass , 1655.

7 - Serge , E , Nuclei and particles, W . A Benjamin Inc . New York , 1963 .

8 - Soodack , H , (Ed .,) Reactor Handbook , Vol. III a (physics), Wiley Interscience, New York. 1962 .

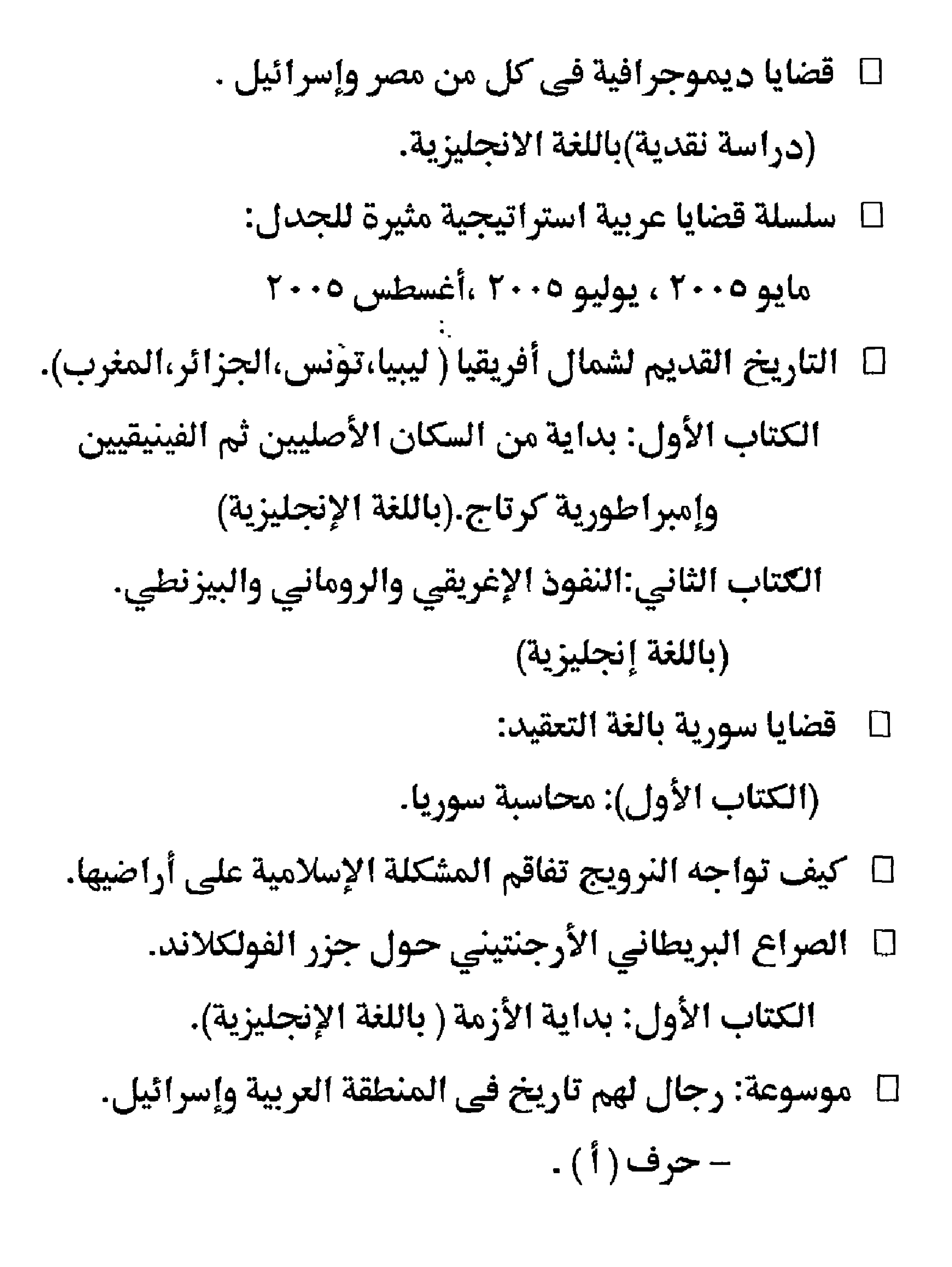
9 - Salmon , A , the nuclear reactor, Longman , London ,1964

10 - Glosstons, S, and A , Sesons, Nuclear . Reactor Engineering , Van Nostrand Reinhold . Co. Inc , New York , 1967.

11 - Man &Atom , building a new world through nuclear technology , by : Gleen T . seaborg & William R . Corliss 1971
12 - Beyer, R . T . (Ed .) Foundatans of nuclear physics, Dover Publications, inc., 1949,
13 -Boors, H . A ., and L . Motz (Eds.) the World of the Atom, Vol. II, Basic Books , Inc ., 1966 , chapter 91, Fission .
14 - B .G .Harvey ,Introduction to nuclear physics and Chemistry , prentice - Hall , Inc ., 1962
15 - Walton, G.N., nuclear fission , quarterlly Reviews (Chem . Soc . london)71 (1961)
16 - Henahan , J., New Scientist , 1973
17 - Hubbert , M . K ., Resources and Man , National Academy of Sciences, Freeman, San Francisco, 1969.
18 - Munk , W .H ., and G .J .F . Mac Donald, the Rotation of the eartyh , a geeophysical discussion , Cambridge university Press, cambridge , 1960 .
19 - Oliver, J .W ., A History of American Technology , Ronald Press, New york , 1956.
20 - White, D.E ., Geothermal Energy , U .S . Geological Survey Circ ., 1965 .
21 - Hydroelectric Engineering Practice , Vol . II , J . Guthrie - Brown, Blackie , London , 1970.
22 - The coming age of Solar Energy by : Daniel S . Halacy . 1973

صدر للمؤلف

- الانشطار : التطور التاريخي للانشطار النووي.
- لماذا تفوقت اسرائيل على العرب نوويا ؟
- البرنامج النووي الإيراني:
  - الكتاب الأول : هل ستصبح ايران دولة نووية تخشاها الدول المجاورة لها؟ ٤/١
  - الكتاب الثاني: رعب داخل دول الخليج وإسرائيل من بناء القنبلة النووية الشيعية. ٤/٢
  - الكتاب الثالث: بداية التعاون الخليجي العلني مع دول الغرب وإسرائيل لوقف بناء القنبلة الشيعية . ٤/٣
  - الكتاب الرابع:المراحل التمهيدية للمواجهة الكارثية بين الغرب ودول الخليج من جهة وإيران من جهة أخرى. ٤/٤
- ظاهرة الاحتكار فى الأسواق المصرية (دراسة نقدية).
- تجاوب مصري ضعيف رغم الضغوط الأمريكية والأوربية لتحرير سياسة سعر الصرف خلال الفترة من ٢٠٠٠ الى عام ٢٠٠٥ (دراسة نقدية).
- أزمة الإعلام التعاوني فى العالم العربى . (دراسة نقدية) .



- قضايا ديموجرافية فى كل من مصر وإسرائيل .

  (دراسة نقدية)باللغة الانجليزية.

- سلسلة قضايا عربية استراتيجية مثيرة للجدل:

  مايو ٢٠٠٥ ، يوليو ٢٠٠٥ ،أغسطس ٢٠٠٥

- التاريخ القديم لشمال أفريقيا (ليبيا،تونس،الجزائر،المغرب).

  الكتاب الأول: بداية من السكان الأصليين ثم الفينيقيين وإمبراطورية كرتاج.(باللغة الإنجليزية)

  الكتاب الثاني:النفوذ الإغريقي والروماني والبيزنطي.

  (باللغة إنجليزية)

- قضايا سورية بالغة التعقيد:

  (الكتاب الأول): محاسبة سوريا.

- كيف تواجه النرويج تفاقم المشكلة الإسلامية على أراضيها.

- الصراع البريطاني الأرجنتيني حول جزر الفولكلاند.

  الكتاب الأول: بداية الأزمة (باللغة الإنجليزية).

- موسوعة: رجال لهم تاريخ فى المنطقة العربية وإسرائيل.

  – حرف (أ) .

The Fission

Historical development of Nuclear fission



By
Hussein Aly